

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

в 2 частях

Часть 2

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области энергетики и энергетического оборудования*

Минск
БНТУ
2021

УДК 620.92 (075.8)
ББК 31.15я7
Н57

С о с т а в и т е л и:
И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская

Р е ц е н з е н т ы:
В. В. Саранцев;
кафедра «Газоснабжение и местные виды топлива»
ГИП «ГАЗ-ИНСТИТУТ»

Н57 **Нетрадиционные источники энергии** : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» : в 2 ч. / сост.: И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская. – Минск : БНТУ, 2021. – Ч. 2: Солнечная энергетика. – 2021. – 53 с.
ISBN 978-985-583-614-9 (Ч. 2).

Учебно-методическое пособие содержит теоретический материал и практические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Нетрадиционные источники энергии», «Применение нетрадиционных источников». Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с учебным планом специальностей и программой дисциплины.

УДК 620.92 (075.8)
ББК 31.15я7

ISBN 978-985-583-614-9 (Ч. 2)
ISBN 978-985-583-615-6

© Белорусский национальный
технический университет, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1	
Изучение лабораторной установки.....	4
Лабораторная работа № 2	
Изучение конструкции и принципа действия фотоэлектрических преобразователей.....	9
Лабораторная работа № 3	
Исследование характеристик солнечных батарей различного типа.....	21
Лабораторная работа № 4	
Параллельное соединение солнечных батарей.....	30
Лабораторная работа № 5	
Последовательное соединение солнечных батарей, байпасные диоды.....	37
Лабораторная работа № 6	
Характеристики солнечных батарей в зависимости от интенсивности облучения, угла падения лучей и температуры.....	45
Библиографический список	53

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 (рис. 1.1). 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 (рис. 1.2). Тип исследуемых монокристаллических батарей – ТСМ-80А, поликристаллических – ТСМ-75.

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 (рис. 1.3). Каждая группа светильников имеет собственный выключатель.

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

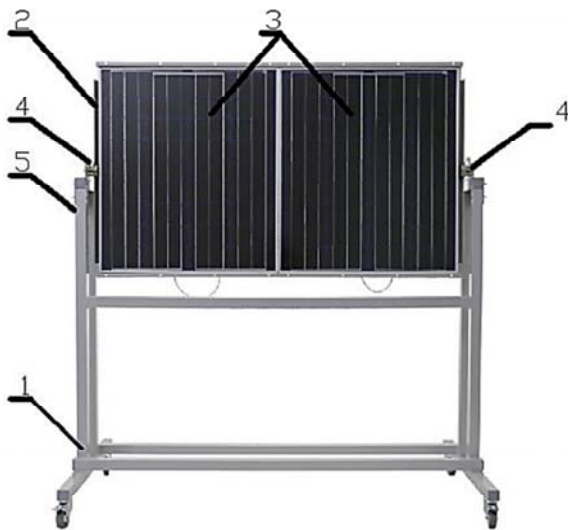


Рис. 1.1. Модуль солнечных батарей:

- 1 – рама на колесах; 2 – рамка солнечных батарей; 3 – солнечные батареи;
 4 – кронштейн с устройством регулирования угла наклона;
 5 – разъемы для подключения модуля (не показаны)

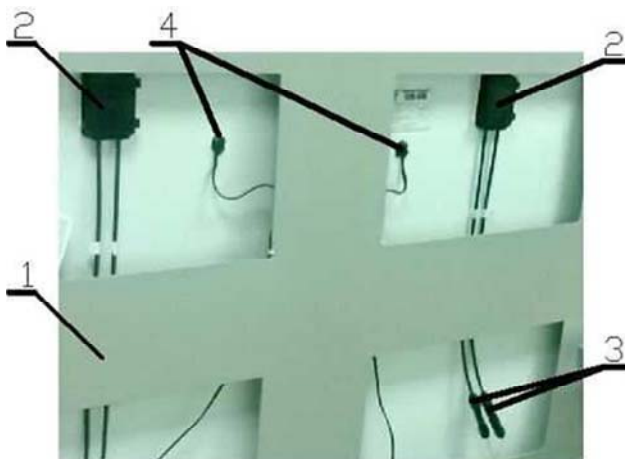


Рис. 1.2. Модуль вид сзади:

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

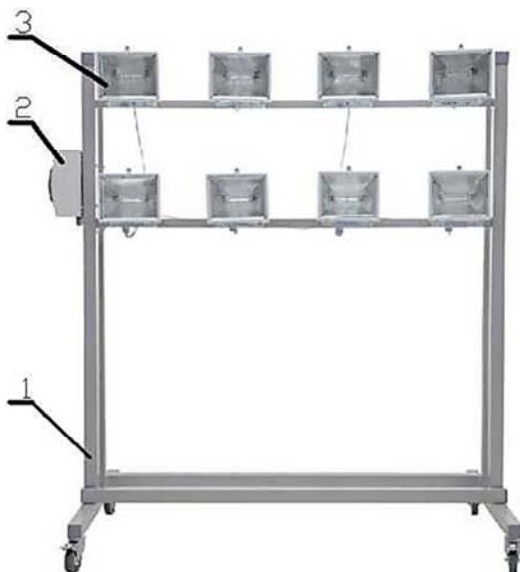


Рис. 1.3. Блок освещения:
1 – рама на колесах; 2 – щиток питания; 3 – прожектор галогенный

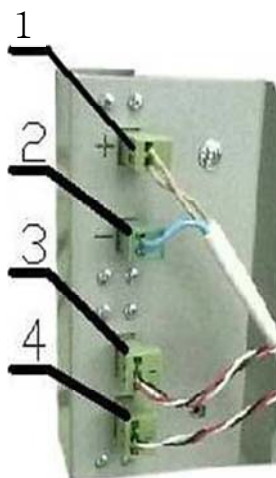


Рис. 1.4. Разъемы подключения:
1 – разъем положительных клемм; 2 – разъем отрицательных клемм;
3 – разъем датчика температуры батареи BL1;
4 – разъем датчика температуры батареи BL2

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

Стенд комплектуется измерителем теплового потока типа ИПП-2. Прибор представлен на рис. 1.5 [1]. 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.

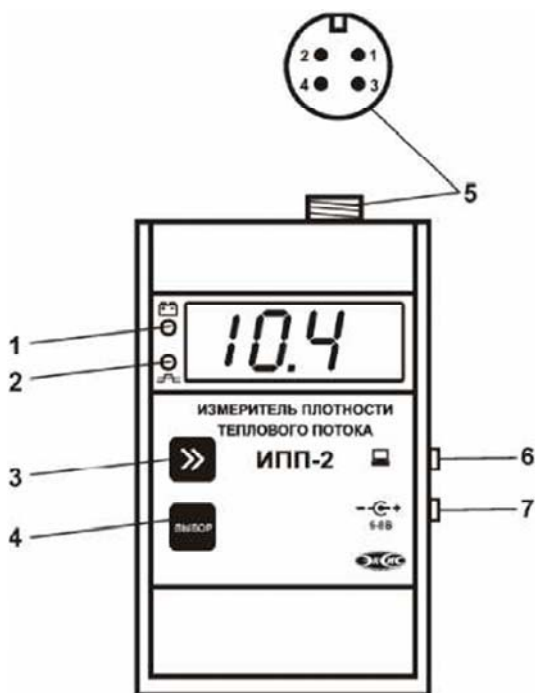


Рис. 1.5. Измеритель плотности теплового потока ИПП-2:

- 1 – индикация режимов работы аккумулятора;
- 2 – индикация нарушения порогов;
- 3 – кнопка ">>"; 4 – кнопка "Выбор"; 5 – разъем для подключения зонда;
- 6 – разъем для подключения к компьютеру;
- 7 – разъем для подключения сетевого адаптера

Контрольные вопросы

1. Что установлено на корпусе блока управления и на лицевой панели?
2. Как осуществляется подключение солнечных батарей?
3. На какой диапазон углов поворачивается солнечная батарея? С каким шагом?
4. Каким прибором осуществляют измерение освещенности солнечных батарей?
5. Каким прибором осуществляют измерение плотности тепловых потоков?

Содержание отчета

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

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

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

Теоретические сведения

Солнечная батарея – несколько объединенных 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 (греч. *ἥλιος*, *helios* – солнце).

Производство фотоэлектрических элементов и солнечных коллекторов развивается в разных направлениях [7]. Солнечные батареи бывают различных видов (рис. 2.1) и размеров: от встраиваемых в микрокалькуляторы до занимающих крыши автомобилей и зданий.



Рис. 2.1. Виды солнечных батарей

Солнечные батареи на основе кремния

Батареи, основой которым служит кремний, на сегодня 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 кремния и аморфного кремния.

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



Рис. 2.2. Общий вид монокристаллического фотоэлемента

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. 2.2). 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%).

Для получения поликристаллов кремниевый расплав подвергается медленному охлаждению. Полученные поликристаллические солнечные батареи представлены на рис. 2.3. Такая технология требует меньших энергозатрат, следовательно, и себестоимость крем-

ния, 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 табл. 2.1 приведены основные различия между моно- и полисолнечными элементами.

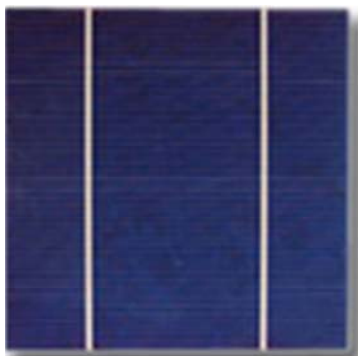


Рис. 2.3. Общий вид поликристаллического фотоэлемента

Таблица 2.1

Различия между моно- и полисолнечными элементами

Показатель	Моноэлементы	Полиэлементы
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 схож с поликристаллическим кремнием.

Разработка пленочных батарей обусловлена:

- 1) потребностями в снижении стоимости солнечных батарей;
- 2) необходимостью в улучшении производительности и технических характеристик.

Солнечные батареи на основе CdTe

Исследования теллурида кадмия, как светопоглощающего материала для солнечных батарей, начались еще в 1970-х годах.

В то время его рассматривали как один из оптимальных вариантов для использования в космосе, сегодня же батареи на основе CdTe (рис. 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.

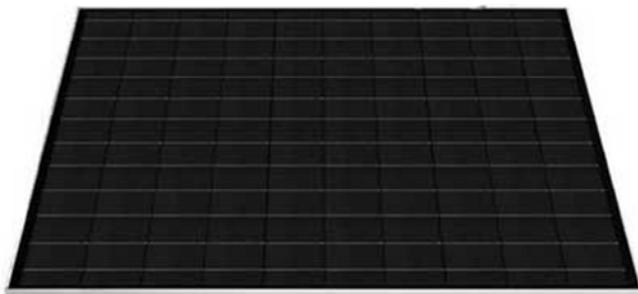


Рис. 2.4. Общий вид фотоэлемента на основе теллурида кадмия

Батареи на основе селенида меди-индия

Как понятно из названия, в качестве полупроводников используются медь, индий и селен, иногда некоторые элементы индия замещают галлием (рис. 2.5).

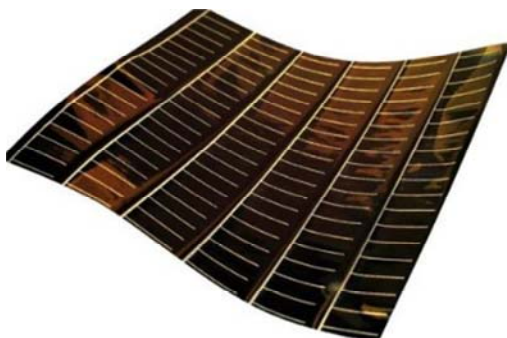


Рис. 2.5. Общий вид фотоэлемента на основе селенида индия

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 сол-

нечные 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%.

Солнечные батареи 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.

Толщина пленок составляет 100 нм. Полимерные солнечные батареи, как на рис. 2.6, имеют на сегодня КПД всего 5–6%.

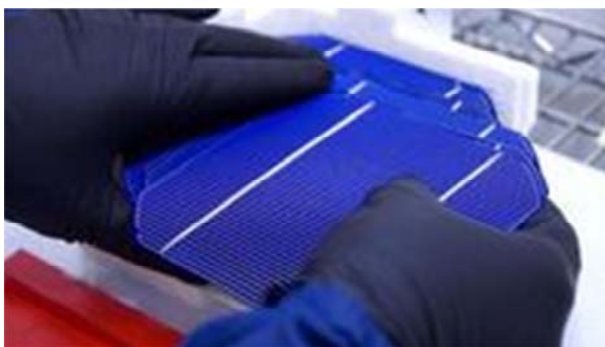


Рис. 2.6. Общий вид фотоэлемента на основе полимеров

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 табл. 2.2 приведены обобщенные данные о КПД разных видов солнечных батарей.

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

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%

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 нем;
- 3) рассеянием на тепловых колебаниях решетки 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 12 В. 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 15 В, 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. Схематичное изображение соединения солнечных элементов батареи показано на рис. 2.7.

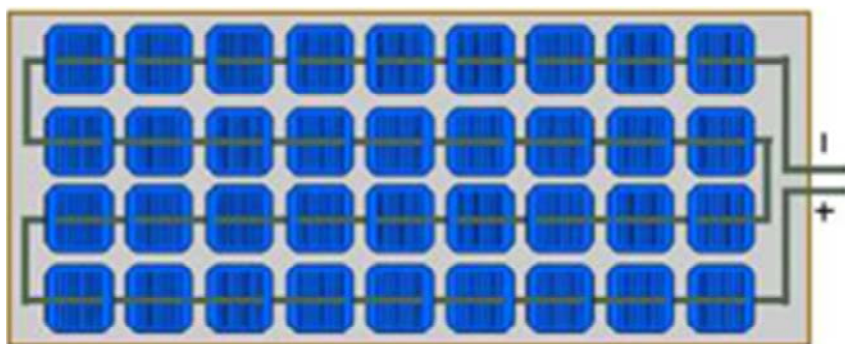
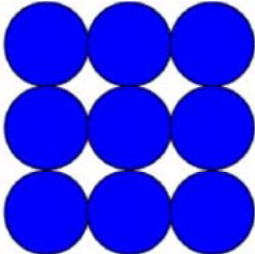
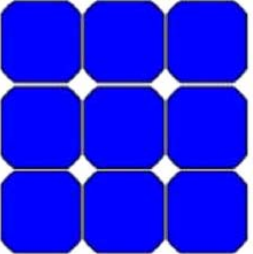
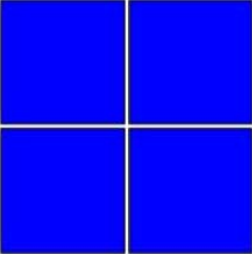


Рис. 2.7. Соединение элементов

Плотность упаковки солнечных элементов в модуле равна отношению площади модуля, которую занимают солнечные элементы, к общей площади. Плотность упаковки на ряду 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 показаны в табл. 2.3.

Геометрическая форма солнечных элементов

Монокристаллические		Поликристаллические
Круглые	Обточенные	
		

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.

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 [2]. 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 массы¹:

$$AM = \frac{1}{\cos\theta}; \quad (1)$$

где 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 5762 К (рис. 2.8).

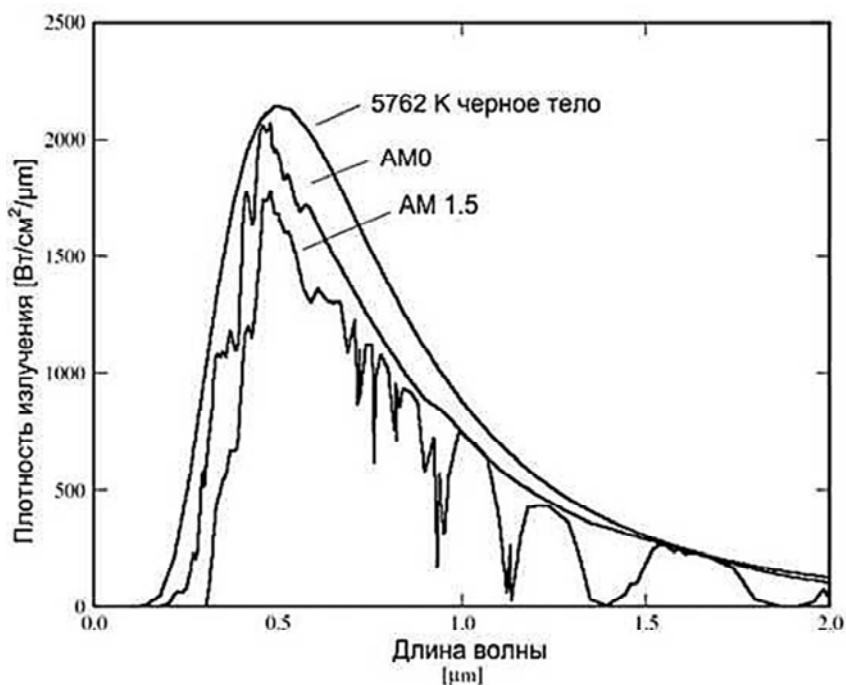


Рис. 2.8. Зависимость плотности излучения от длины волны

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

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:

$$I_D = 1353 \cdot 0,7^a, \quad (2)$$

где

$$a = AM^{0,678}. \quad (3)$$

Общая интенсивность солнечного излучения:

$$I_G = 1,1 \cdot I_D. \quad (4)$$

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

Стандартный спектр на поверхности Земли соответствует атмосферной массе АМ1,5 (АМ1,5G). Рассчитав по формулам (2) и (4) интенсивность для АМ1,5G получим 931 Вт/м². На практике стандартом определено значение интенсивности (нормализованная суммарная плотность излучения), равное 1 кВт/м². Стандартный спектр вне земной атмосферы соответствует АМ0, так как свет не ослабляется атмосферой. Этот спектр используют для расчета солнечных элементов орбитальных аппаратов. Для наиболее часто встречающихся номеров АМ в табл. 2.4 приведены расчетные и стандартные значения интенсивности солнечного излучения.

Таблица 2.4

Интенсивность солнечного излучения

	Метод	АМ0	АМ1	АМ1,5	АМ2	АМ10
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 солнечный элементов орбитальных аппаратов?

Содержание отчета

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

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

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

Теоретические сведения

Вольтамперная характеристика – зависимость тока, проходящего через цепь от напряжения на этой цепи [8]. Описывает поведение цепи на постоянном токе. А также функция, выражающая (описывающая) эту зависимость и график этой функции. Для линейных ВАХ представляет собой прямую линию (описываемую законом Ома) и не имеет особого интереса для изучения. Наиболее привлекательными с точки зрения электротехники являются нелинейные элементы, к которым относятся и солнечные батареи.

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:

1. Подключить один из модулей солнечных батарей к блоку управления (см. рис. 1.4).
2. Установить солнечные батареи в вертикальное положение.
3. Разместить блок освещения напротив солнечных батарей исследуемого модуля.

Примечание. При работе прожекторов солнечные батареи могут нагреваться до высоких температур, поэтому расстояние между прожекторами и поверхностью солнечных батарей не должно быть менее 0,5 м. 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 табл. 3.1 занести данные исследуемой батареи.

Таблица 3.1

Параметры батареи

Параметр	Ед. изм.	Значение
Тип батареи	—	
Тип фотоэлементов	—	
Габаритная площадь	мм	
Площадь фотоэлементов солнечной батареи	м ²	

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

5. Подключить питание блока освещения.

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

7. Установить блок освещения параллельно плоскости солнечных батарей на требуемое расстояние (рекомендуемое расстояние для данной работы 0,6–0,7 м). Расстояние L отразить в табл. 3.2.

Определение характеристик:

1) используя измеритель плотности теплового потока (если имеется) определить плотность потока излучения на поверхности батареи BL1 (см. рис. 3.1) в четырех секторах. Данные занести в табл. 3.2.

2) используя люксметр определить освещенность поверхности батареи BL1 (см. рис. 3.1) в четырех секторах. Данные занести в табл. 3.2.

3) 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/м ²		
Среднее значение интенсивности излучения	Вт/м ²	
Измеренная освещенность, лк		
Среднее значение освещенности	лк	

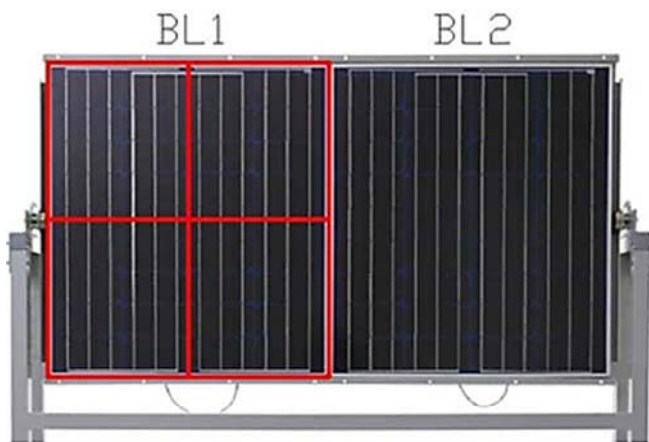


Рис. 3.1. Монокристаллическая батарея

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

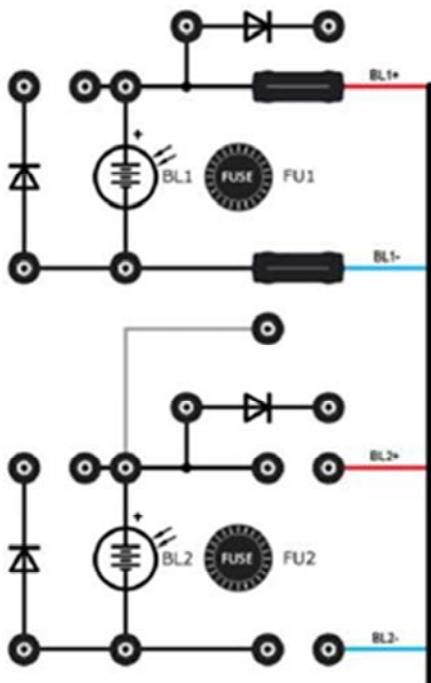


Рис. 3.2. Схема подключения солнечной батареи BL1

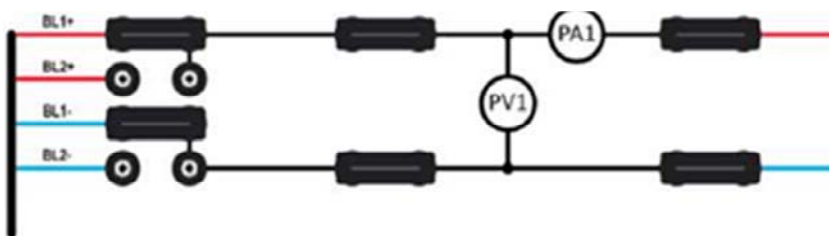


Рис. 3.3. Схема подключения вольтметра и амперметра при работе солнечной батареи BL1

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

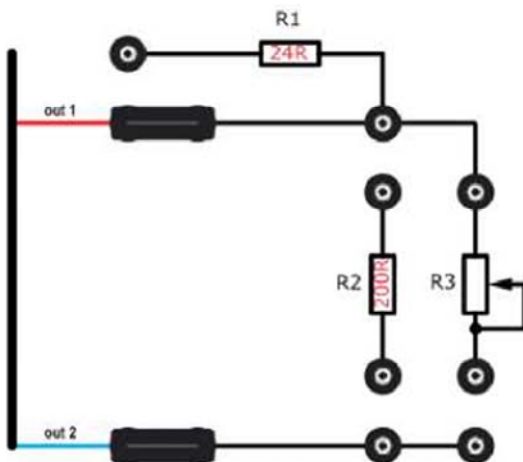


Рис. 3.4. Холостой ход

Подключить нагрузку к выходу солнечной батареи (рис. 3.5).

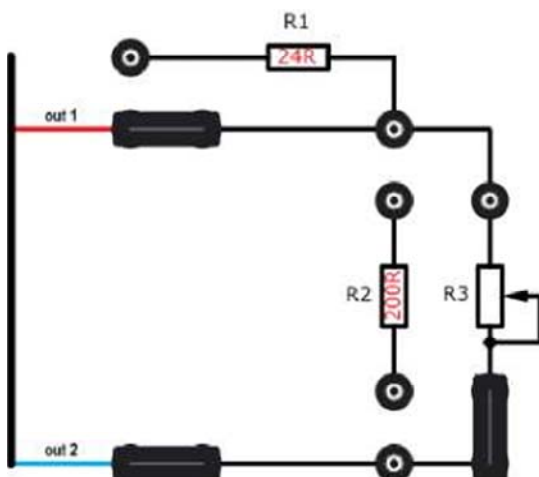


Рис. 3.5. Резистивная нагрузка

Провести серию опытов постепенно увеличивая нагрузку. Данные занести в табл. 3.3. В табл. 3.3 в столбце «Нагрузка» приведены номера (для примера) положений переключателя ступенчатой резистивной нагрузки R1.

Провести опыт короткого замыкания (рис. 3.6). Данные занести в табл. 3.3.

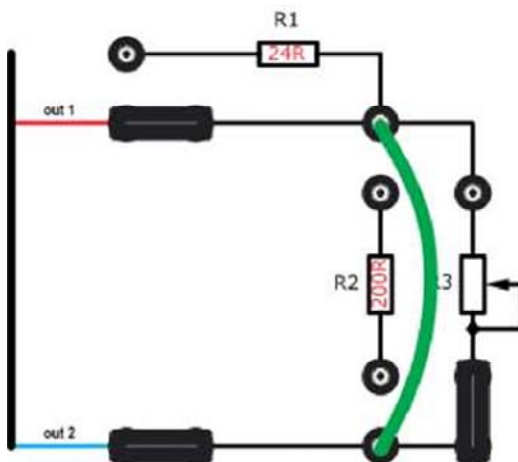


Рис. 3.6. Короткое замыкание

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

Таблица 3.3

Вольтамперные характеристики в зависимости от нагрузки

Нагрузка	Измерено			Вычислено		
	$U, В$	$I, А$	$P, Вт$	$I_{\%}, \%$	$P_{\%}, \%$	η
XX						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Нагрузка	Измерено			Вычислено		
	$U, В$	$I, А$	$P, Вт$	$I_{\%}, \%$	$P_{\%}, \%$	η
9						
10						
11						
КЗ						

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.

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

Таблица 3.4

Максимальные характеристики батареи

	Обозначение	Ед. изм.	Величина
Максимальный ток	I_m	А	
Максимальная мощность	P_m	Вт	
Плотность облучения	I_p	Вт/м ²	
Максимальный КПД	η_m	%	

Рассчитать плотность облучения по формуле 9 и КПД по формуле 8. Относительный ток батареи, %:

$$I_{\%} = \frac{I}{I_m} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Относительная мощность батареи, %:

$$P_{\%} = \frac{P}{P_m} \cdot 100\%. \quad (6)$$

где I и P – ток и мощности из табл. 3.3, А и Вт соответственно;

I_m и P_m – ток и мощности из табл. 3.4, А и Вт соответственно.

КПД солнечной батареи в зависимости от мощности, %:

$$\eta = \eta_m \frac{P}{P_m}, \quad (7)$$

где η_m – расчетный максимальный КПД.

Максимальный КПД, определяемый по следующей формуле:

$$\eta_m = \frac{P_n}{S \cdot I_p} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где S – площадь фотоэлементов солнечной батареи или габаритная площадь, m^2 (паспортная);

I_p – расчетная плотность излучения, $Вт/м^2$.

Плотность облучения, $Вт/м^2$:

$$I_p = I_{G(AM1,5)} \cdot \frac{P_m}{P_n}, \quad (9)$$

где P_n – номинальная мощность (паспортная), Вт;

$I_{G(AM1,5)}$ – суммарная плотность излучения, для атмосферной массы AM1,5 равная $1 \text{ кВт}/м^2$, $Вт/м^2$.

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

Построить совмещенную характеристику батареи в относительных единицах: $P\% = f(U)$, $I\% = f(U)$, $\eta = f(U)$, пример строимых зависимостей представлен на рис. 3.7.

При необходимости присоединить к блоку управления второй модуль солнечных батарей и повторить опыты для солнечных батарей с поликристаллическими солнечными элементами.

Выключить питание. Разобрать схемы на панели блока управления.

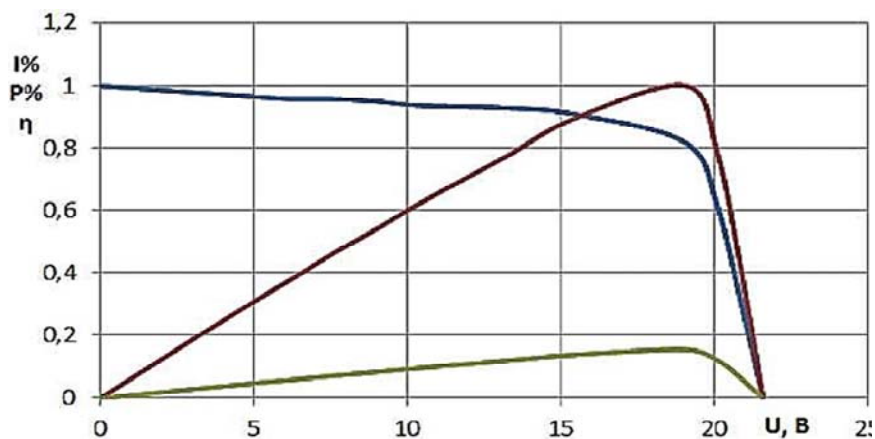


Рис. 3.7. Ориентировочный график зависимости силы тока, мощности, КПД от напряжения ВАХ

Контрольные вопросы

1. Что такое вольтамперная характеристика?
2. Что такое напряжение холостого хода?
3. Что такое короткое замыкание?
4. Какова максимальная температура солнечных батарей?
5. Чему равна в крайних точках ВАХ мощность модуля?

Содержание отчета

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

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Цель: определить и исследовать вольтамперные 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]. То есть, в каком бы месте и последовательности не происходило соединение выводов солнечных батарей, все минусовые и плюсовые клеммы сойдутся в двух основных точках: плюс и минус. При параллельном подключении суммируются токи двух 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 (рис. 4.1), последовательно с каждым элементом (группой элементов) обязательна.

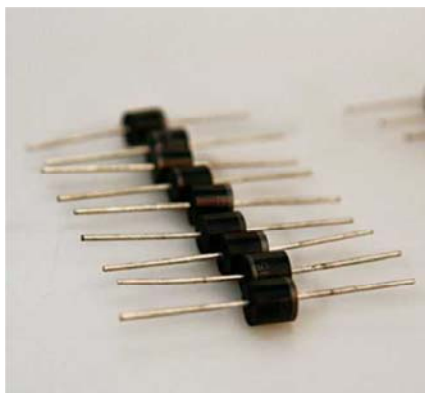


Рис. 4.1. Блокирующие диоды

Ход работы

Подготовить установку к работе (см. лабораторная работа № 3). Установленное расстояние L отразить в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Расстояние между источником излучения и батареями

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Величина
Расстояние между прожекторами и батареей	L	м	

Повторить опыт по снятию характеристик одиночной батареи для BL1 (см. лабораторная работа № 3). Данные занести в табл. 4.2.

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

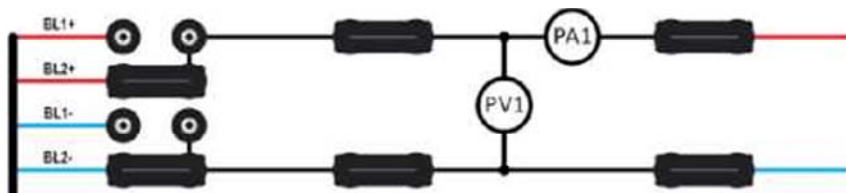


Рис. 4.2. Схема подключения вольтметра и амперметра при работе солнечной батареи BL2

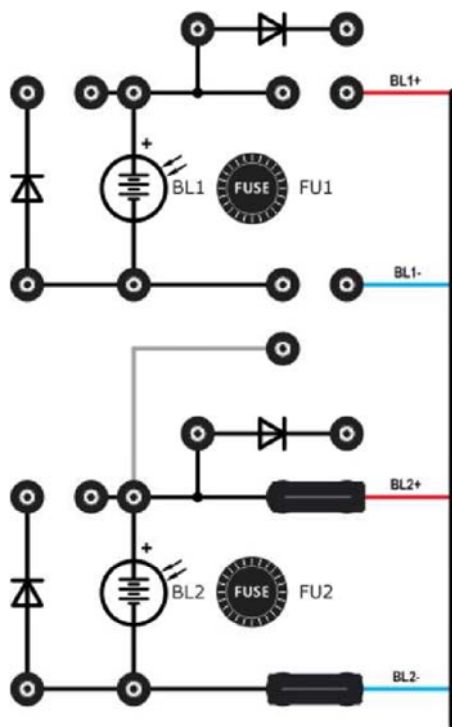


Рис. 4.3. Схема подключения солнечной батареи BL2

Снять характеристику одиночной батареи BL2.

Данные занести в табл. 4.2.

Аналогичные данные для батареи BL1 взять из табл. 3.3.

Таблица 4.2

Характеристика одиночных батарей BL1 и BL2

Нагрузка	BL1			BL2		
	$U, В$	$I, А$	$P, Вт$	$U, В$	$I, А$	$P, Вт$
XX						
1						
2						
3						

Нагрузка	BL1			BL2		
	$U, В$	$I, А$	$P, Вт$	$U, В$	$I, А$	$P, Вт$
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
КЗ						

Собрать на панели блока управления схемы как показано на рис. 4.4, 4.6.

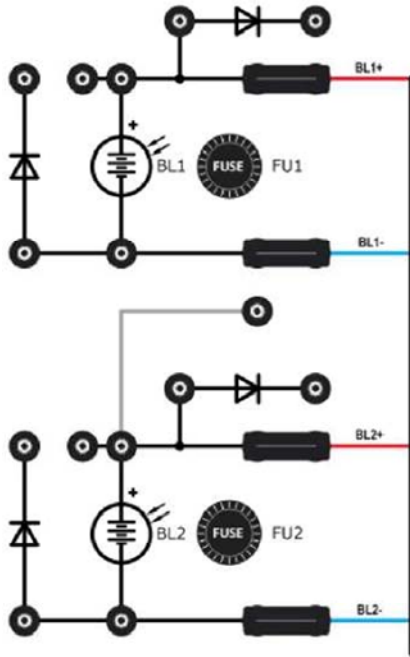


Рис. 4.4. Схема подключения солнечных батарей BL1 и BL2 параллельно

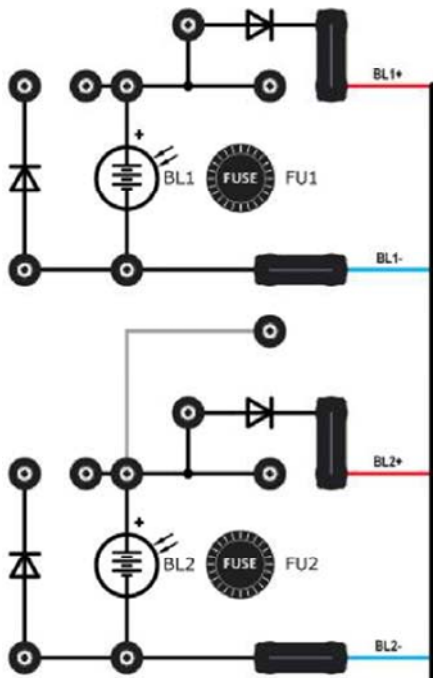


Рис. 4.5. Схема подключения солнечных батарей BL1 и BL2 параллельно через блокирующий диод



Рис. 4.6. Схема подключения вольтметра и амперметра при параллельном соединении батарей

Снять характеристики для случая параллельной работы BL1 и BL2 без включения в цепь блокирующего диода. Данные занести в табл. 4.3.

Собрать на панели блока управления схемы как показано на рис. 4.5, 4.6.

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

Таблица 4.3

Характеристика батарей, работающих параллельно и с блокирующими диодами

Нагрузка	BL1 и BL2 параллельно			BL1 и BL2 параллельно с диодами		
	$U, В$	$I, А$	$P, Вт$	$U, В$	$I, А$	$P, Вт$
XX						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
КЗ						

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

На одном графике построить характеристики: $P = f(U)$ для всех четырех выполненных опытов по данным табл. 4.2, 4.3.

На втором графике построить характеристики: $I = f(U)$ также для всех выполненных опытов.

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

Выключить питание. Разобрать схемы на панели блока управления.

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?

Содержание отчета

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

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ, БАЙПАСНЫЕ ДИОДЫ

Цель: определить и исследовать вольтамперные 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 (рис. 5.1) [6].

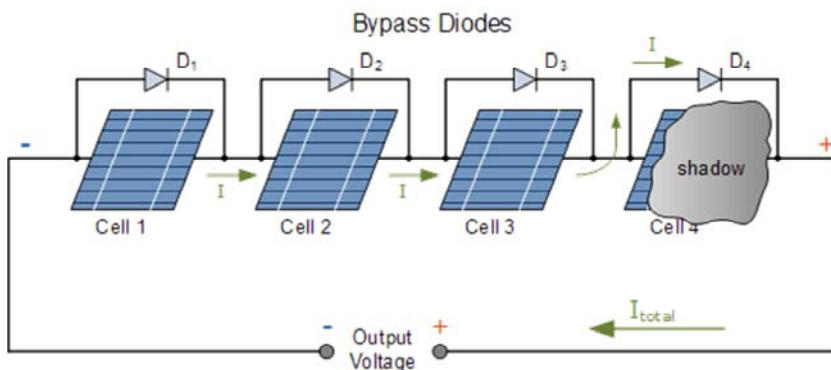


Рис. 5.1. Последовательное включение солнечных батарей с байпасным диодом

Последовательное соединение

Эта схема (рис. 5.2) подразумевает соединение «плюса» первого модуля с «минусом» второго и вывод внешних проводов от «минуса» первого фотомодуля и «плюса» второго [5]. 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.

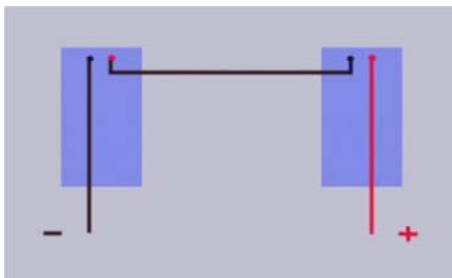


Рис. 5.2. Последовательное включение солнечных батарей

Ход работы

Подготовить установку к работе. Расстояние L привести в соответствие с лабораторной работой № 4 и занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Расстояние между источником излучения и батареями.

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Величина
Расстояние между прожекторами и батареями	L	м	

Собрав схемы согласно рисункам 3.2, 3.3, 4.2, 4.3 снять характеристики одиночных батареи BL1 и BL2, данные занести в табл. 5.2.

При использовании солнечных батарей одного типа и установке блока освещения на одном и том же расстоянии с предыдущими работами, для заполнения табл. 5.2 можно воспользоваться данными табл. 4.2.

Таблица 5.2

Характеристики одиночных батарей BL1 и BL2

Нагрузка	BL1			BL2		
	$U, В$	$I, А$	$P, Вт$	$U, В$	$I, А$	$P, Вт$
XX						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
КЗ						

Собрать на панели блока управления схемы как показано на рис. 5.3, 5.5.

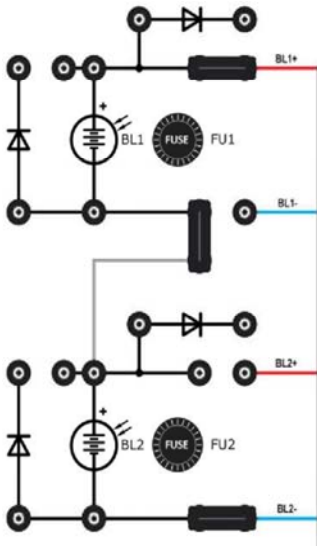


Рис. 5.3. Схема подключения солнечных батарей BL1 и BL2 параллельно

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

Далее необходимо снять характеристики для случая последовательной работы BL1 и BL2 с применением блокирующие диодов (рис. 5.4, 5.5), данные занести в табл. 5.3.

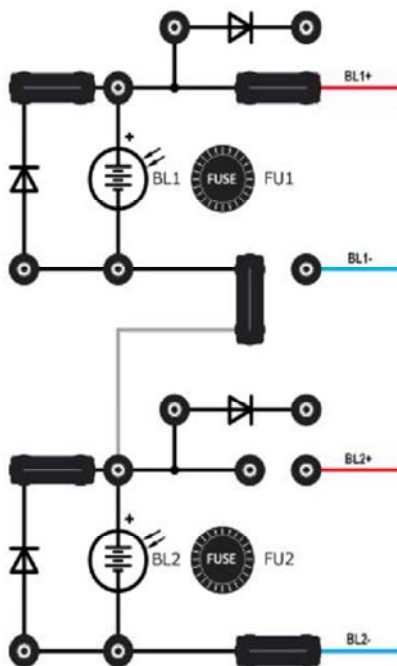


Рис. 5.4. Схема подключения солнечных батарей BL1 и BL2 параллельно с байпасным диодом

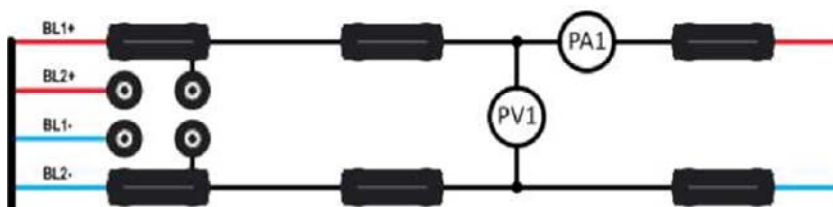


Рис. 5.5. Схема подключения вольтметра и амперметра при последовательном подключении батарей

Таблица 5.3

Характеристики последовательно
подключенных батарей BL1 и BL2

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

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

На одном графике построить характеристики: $P = f(U)$ для всех четырех выполненных опытов по данным табл. 5.2, 5.3.

На втором графике построить характеристики: $I = f(U)$ также для всех выполненных опытов.

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

Затенение части последовательно работающих батарей

Подготовить установку к работе. Собрать на панели блока управления схемы как показано на рис. 5.3, 5.5.

Отключить освещение батареи BL2 (выключить одну секцию прожекторов).

Снять характеристики для случая последовательной работы BL1 и BL2 при освещении только BL2, данные занести в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Характеристики последовательно подключенных
батареи BL1 и BL2 при затенении одной из них

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

Снять характеристики для случая последовательной работы BL1 и BL2 с применением байпасных диодов (рис. 5.4, 5.5), данные занести в табл. 5.4.

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

На одном графике построить следующие характеристики: $P = f(U)$, $I = f(U)$ для данных из табл. 5.4 для обоих опытов.

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

Наглядная демонстрация работы байпасных диодов

Подготовить установку к работе. Собрать на панели блока управления схемы как показано на рис. 5.4–5.6.

Блок освещения установить на расстояние L (см. выше). При этом должны гореть лампы НЛ на панели (рис. 5.7).

Отключить освещение батареи BL2. Лампы НЛ продолжают гореть с пониженной яркостью (рис. 5.8).

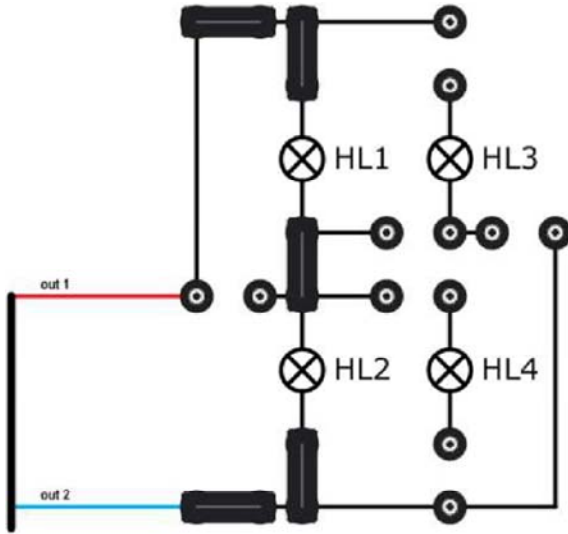


Рис. 5.6. Схема нагрузки для наглядной демонстрации

Отключить (извлечь перемычки) байпасные диоды с батарей BL1 и BL2. Лампы потухнут вследствие прекращения протекания тока через затененную батарею (рис. 5.7).

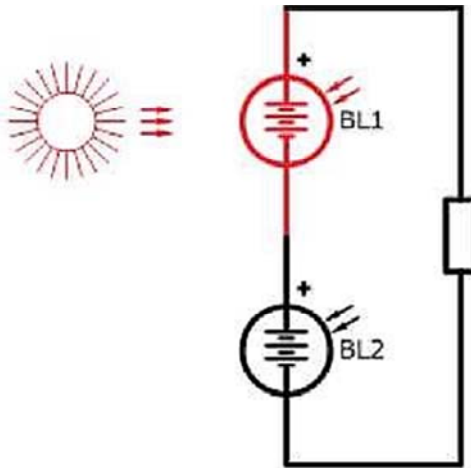


Рис. 5.7. Одна батарея

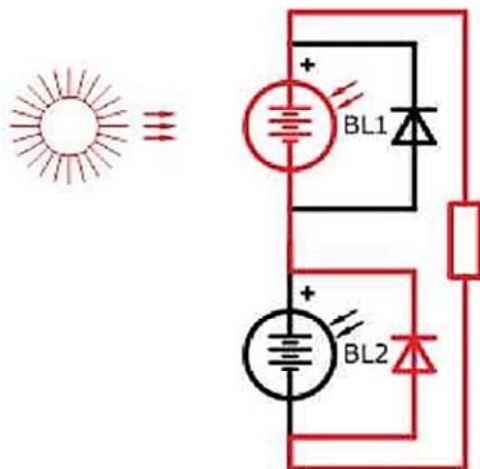


Рис. 5.8. Ток течет через диод

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

Выключить питание. Разобрать схемы на панели блока управления.

Контрольные вопросы

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

Содержание отчета

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

Вольтамперные 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]. 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 (рис. 6.1).

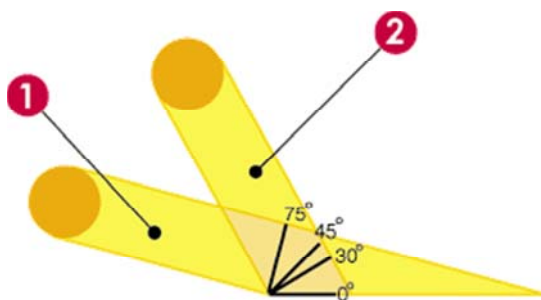


Рис. 6.1. Оптимальный угол наклона зимой (2) и летом (1)

Небольшие отклонения, до 5 градусов, от этого оптимума оказывают незначительный эффект на производительность модулей. Различия в погодных условиях более влияют 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.

Ход работы

1. Подготовить установку к работе.
2. Собрать на панели блока управления схемы как показано на рис. 3.2, 3.3.
3. Снять характеристики одиночной батареи BL1. Данные занести в табл. 6.2.
4. Отклонить солнечные батареи на 15° от начального (вертикального) положения. Расстояние L не изменять.
5. Повторить пункт 3.
6. Повторить пункты 4, 5 для углов наклона солнечных батарей 30° и 45° .
7. Выключить прожекторы. Отодвинуть блок освещения на 1,5–2 м от солнечных батарей.
8. На одном графике построить следующие зависимости $U = f(I)$ для различных углов наклона солнечной батареи по данным из табл. 6.2.

Таблица 6.2

Характеристики батареи BL1 при различных углах наклона

Нагрузка	Угол наклона батарей							
	0		15		30		45	
	I, A	U, B	I, A	U, B	I, A	U, B	I, A	U, B
XX								
1								
2								
3								
5								
8								
КЗ								

Вольтамперные 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, проходящей 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 атмосферной 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

1. Подготовить установку к работе.
2. Расстояние L установить равным $0,6\text{--}0,8$ м. Данные занести в табл. 6.3.
3. Используя измеритель плотности теплового потока определить плотность потока излучения на поверхности батареи BL1 (см. лабораторная работа № 3) в четырех секторах.
4. Используя люксметр определить освещенность поверхности батареи BL1 в четырех секторах.
5. Рассчитать средние значения плотности излучения и освещенности на поверхности батареи, данные занести в табл. 6.3.
6. Снять характеристики одиночной батареи BL1, данные занести в табл. 6.4.

7. Увеличить расстояние L на 0,2 м.
8. Повторить пункты 3–6.
9. Повторить пункты 3–6 для других величин расстояния L .
10. Выключить прожекторы. Отодвинуть блок освещения на 1,5–2 м от солнечных батарей.
11. На одном графике построить следующие зависимости $U = f(I)$ для различных расстояний между батареей и блоком освещения по данным из табл. 6.4.
12. Выключить питание. Разобрать схемы на панели блока управления.

Таблица 6.3

Характеристики излучение на различном расстоянии от источника

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

Таблица 6.4

Характеристики солнечной батареи на различном расстоянии от источника излучения

Нагрузка	Расстояние							
	L1 = м		L2 = м		L3 = м		L4 = м	
	I, A	U, B	I, A	U, B	I, A	U, B	I, A	U, B
XX								
1								
2								
3								
5								
8								
K3								

Температурная чувствительность напряжения холостого хода

Подготовить установку к работе. Прожекторы не включать.

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

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

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

Занести в табл. 6.5 значение начальной температуры.

Включить блок освещения.

На фиксированных отрезках времени (см. табл. 6.5) определить установившуюся температуру батареи и напряжение холостого хода, данные занести в табл. 6.5.

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

Примечание. 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 6.5

Параметры напряжения холостого хода батареи при различной ее температуре

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

Построить характеристику нагрева (кривую нагрева) для данных из табл. 6.5. Предполагаемый вид строимой кривой приведен на рис. 6.2.

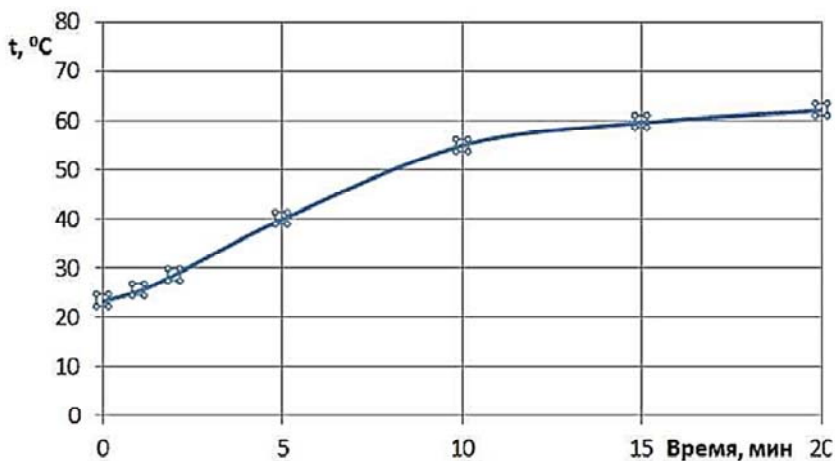


Рис. 6.2. Ориентировочная зависимость температуры солнечной батареи от времени

Построить зависимость $U_{xx} = f(t)$. Фрагмент поученной зависимости приведен на рис. 6.3.

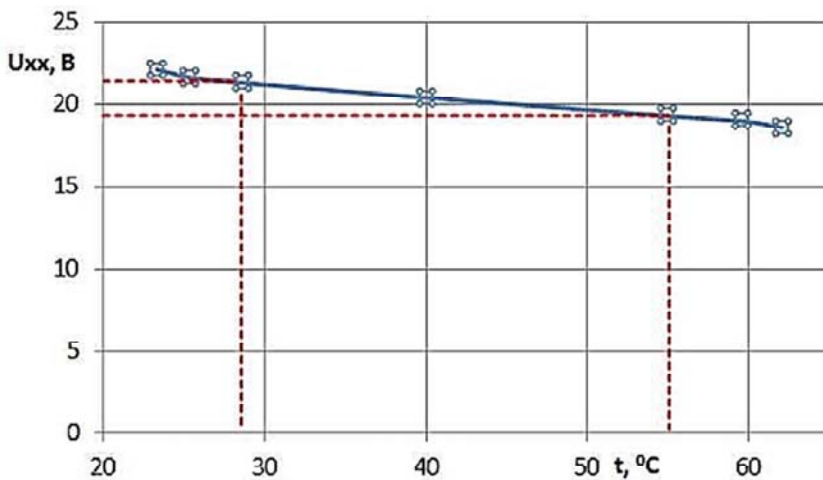


Рис. 6.3. Ориентировочная зависимость тока холостого хода солнечной батареи от времени

На графике выбрать относительно ровный участок между двумя точками (показано на рис. 6.3).

Рассчитать коэффициент зависимости напряжения холостого хода от температуры по формуле (10).

Зависимость напряжения холостого хода от температуры (В/°С):

$$V_t = \frac{U_{XX2} - U_{XX1}}{t_2 - t_1}, \quad (10)$$

где U_{XX1} – напряжение холостого хода в начальной точке, В;

U_{XX2} – напряжение холостого хода в конечной точке, В;

t_1 – температура батареи в начальной точке, °С;

t_2 – температура батареи в конечной точке, °С.

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?

Содержание отчета

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измеритель плотности теплового потока ИПП-2. Руководство по эксплуатации и паспорт. – ТФАП.405126.003 РЭ.
2. Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии. Теория и практика использования солнечной энергии / В. Поулек [и др.]. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2013. – 324 с.
3. Влияние температуры на выработку электроэнергии солнечными панелями [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <http://digitrode.ru/articles/1634-vliyanie-temperatury-na-vyrabotku-elektroenergii-solnechnymi-panyami.html>. – Дата доступа: 12.03.2019.
4. Батареи фотоэлектрические. Технические условия. – ГОСТ Р 56978-2016 (IEC/TS 62548:2013).
5. Как соединить солнечные батареи [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: https://ekobatarei.ru/sdelaj_sam/sposoby-soedineniya-solnechnyx-modulej. – Дата доступа: 12.03.2016.
6. Проектирование фотоэлектрических систем: учебно-метод. пособие / сост.: А. А. Бутько, В. А. Пашинский, П. А. Русецкий. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 294 с.
7. Разбираемся в многообразии видов солнечных панелей батареях [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://altenergiya.ru/sun/mnogoobrazie-vidov-solnechnyx-panelej.html>. – Дата доступа: 12.03.2020.
8. Изучение внешнего фотоэффекта. Определение основных характеристик фотоэлемента. Методические указания. – Могилев: УО «Могилевский государственный университет продовольствия», 2010. – 14 с.
9. Применение нетрадиционных источников в теплоснабжении [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» / сост.: И. Н. Прокopenя, А. А. Матявин. – Минск: БНТУ, 2016. – 152 с.

Учебное издание

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

в 2 частях

Часть 2

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ

Составители:

ПРОКОПЕНЯ Иван Николаевич
ПЕТРОВСКАЯ Татьяна Александровна

Редактор *В. И. Акуленок*

Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 22.03.2021. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 3,14. Уч.-изд. л. 2,45. Тираж 50. Заказ 795.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.