

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ПРИ СОЗДАНИИ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Спиридонова М.Н.

МБОУ «Средняя общеобразовательная школа №1», 9 класс

Руководитель: Красавин Э.М., МБОУ «Средняя общеобразовательная школа №1», заместитель директора по научной работе, руководитель Сетевого КЦ программы «Шаг в будущее»

Данная статья является реферативным изложением основной работы. Полный текст научной работы, приложения, иллюстрации и иные дополнительные материалы доступны на сайте VI Международного конкурса научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке» по ссылке: <https://school-science.ru/6/11/37105>.

Без энергии жизнь человечества немыслима. Все мы привыкли использовать в качестве источников энергии органическое топливо – уголь, газ, нефть. Однако их запасы в природе, как известно, ограничены. И рано или поздно наступит день, когда они иссякнут. На вопрос «что делать в преддверии энергетического кризиса?» уже давно найден ответ: надо искать другие источники энергии – альтернативные, нетрадиционные, возобновляемые. Альтернативный источник энергии, является возобновляемым ресурсом, он заменяет собой традиционные источники энергии, функционирующие на нефти, добываемом природном газе и угле, которые при сгорании выделяют в атмосферу углекислый газ, способствующий росту парникового эффекта и глобальному потеплению. Перспективы использования возобновляемых источников энергии связаны с их экологической чистотой, низкой стоимостью эксплуатации и ожидаемым топливным дефицитом в традиционной энергетике. В определённых случаях нет возможности воспользоваться традиционной энергией. Например, находясь в походе, отдыхая на природе, в длительных путешествиях возникает необходимость пополнить энергетический запас мобильной электроники. В этом случае, единственным источником энергии, может стать только альтернативная энергетика.

Цель и задачи работы. Целью данной работы является, исследование возможностей альтернативной энергетике при создании зарядных устройств для мобильной электроники, которые способны обеспечить энергией небольшие мобильные устройства в автономных условиях. Цель работы, предполагала решение следующих задач:

Определение возможных альтернативных источников энергии для разработки и создания зарядных устройств;

Изучение литературных данных по выбранным альтернативным источникам

энергии, возможностям их использования для разработки зарядных устройств;

Разработка схемотехники зарядных модулей;

Изготовление опытных образцов зарядных модулей;

Исследование параметров и функциональных возможностей изготовленных образцов.

### 1. Возможные альтернативные источники энергии для изготовления зарядной станции [1–3] (приложение, табл. 1)

#### 1.1. Солнечная энергия

К преимуществам солнечной энергии можно отнести возобновляемость данного источника энергии, бесшумность, отсутствие вредных выбросов в атмосферу. Недостатками солнечной энергии являются зависимость интенсивности солнечного излучения от суточного и сезонного ритма.

#### 1.2. Энергия ветра

Одним их перспективнейших источников энергии является ветер. Сила ветра, используется для того, чтобы привести в движение ветряное колесо. Это вращение в свою очередь передаётся ротору электрического генератора. Ветер можно считать неисчерпаемым источником энергии. Кроме того, ветрогенераторы, производя энергию, не загрязняют атмосферу вредными выбросами. К недостаткам можно отнести непостоянство силы ветра и малую мощность единичного ветрогенератора, а также значительные габариты, и вес устройства.

#### 1.3. Термоэлектричество

Метод получения электроэнергии при воздействии тепла основан на эффекте Зеебека, открытом в 1821 году. Эффект состоит в том, что в замкнутой цепи из двух разнородных проводников появляется ЭДС,

если места спаев проводников находятся при разных температурах. Недостатком данного метода является необходимость нагрева спаев металлов, что не всегда возможно в автономных условиях.

## 2. Исторические аспекты использования выбранных альтернативных источников энергии [1–3]

### 2.1. Использование ветра

Ветряные мельницы, производящие электричество, были изобретены в XIX веке в Дании. В России считается, что применение ветрогенераторов в быту для обеспечения электричеством малоцелесообразно из-за; высокой стоимости преобразователей тока и напряжения, стоимости резервных батарей и значительного количества иных энергоносителей.

### 2.2. Использование солнечной энергии

В 1839 году Александр Эдмон Беккерель открыл фотогальванический эффект. Спустя 44 года Чарльзу Фриттсу удалось сконструировать первый модуль с использованием солнечной энергии, а основой для него послужил селен, покрытый тончайшим слоем золота. Ученый установил, что такое сочетание элементов позволяет, хоть и в минимальной степени (около 1%), преобразовывать энергию солнца в электричество. Именно 1883 год принято считать годом рождения эры солнечной энергетики. Чтобы более эффективно реализовывать солнечную энергию применяют фотоэлементы. На своей поверхности они имеют полупроводниковый слой, в котором, при воздействии на них лучей солнца, начинаются определённые физические процессы, и тем самым вырабатывается электрический ток. Такой принцип выработки тока не содержит никаких химических реакций, что позволяет фотоэлементам работать достаточно долго. На сегодняшний день солнечные батареи, как источник энергии, используют для производства электричества в теплых странах, таких как Турция, Египет и страны Азии. В нашем регионе солнце, как источник энергии, применяют для снабжения электричеством автономных систем электропитания, маломощной электроники.

### 2.3 Использование тепловой энергии, преобразование элемента Пельтье

В 1834 г. французский физик и метеоролог Жан Шарль Пельтье (1785–1845) обнаружил, что при протекании электрического тока на границах двух разных проводников (например, висмута и сурьмы) происходит на одном конце поглощение тепла, а на дру-

гом – его выделение («эффект Пельтье»). Изменение температуры при этом пропорционально силе тока. Эффекты Пельтье и Зеебека на данном этапе становления альтернативной энергетики заинтересовали ученых как возможный перспективный метод получения электричества. Единственной сложностью, тормозящей промышленное использование подобных элементов, является их низкий КПД. Элементы Пельтье широко используют с целью охлаждения приборов малых габаритов. К основной сфере применения данного эффекта можно отнести мелкую электронику, портативные авто-холодильники и кондиционеры. При всей простоте, термоэлектрический преобразователь является одним из лучших источников электричества. Он будет работать в любом случае, при наличии разницы температур. Примером такого теплогенератора является широко распространённый в 30–50 годы ТГК-3 (Приложение с20, рис. 1)

3. Определение технических и потребительских характеристик зарядных модулей

1. Модули должны быть компактными, легкими и просты в использовании.

2. Модули должны обеспечить использование нескольких альтернативных источников энергии.

3. Электрические параметры модулей должны обеспечивать возможность зарядки и питания небольших мобильных устройств (мобильный телефон, планшетный компьютер, аккумуляторный фонарь и т.д.).

Исходя из данных технических и потребительских возможностей, я выбрала два альтернативных источника энергии: солнечную, и термоэнергию. Использование энергии ветра предполагает создание ветрогенератора, обладающего значительными размерами и массой, что не отвечает техническим и потребительским параметрам.

## 4. Теоретические основы использования, выбранных альтернативных источников энергии

### 4.1. Принцип работы солнечных батарей [4–11]

Термин «солнечная батарея» можно понимать по-разному. Обычно так называют панели фотоэлектрических преобразователей, которые способны преобразовывать солнечное излучение в электроэнергию. Принцип их работы во многом сходен с организацией транзистора. Как правило, материалом для этого изделия является полупроводниковый кремний (Приложение лист II, рис. 2–4, табл. 2). Батарея солнечных элементов является полупроводниковым фотоэлектрическим генератором, непосредственно

преобразующим энергию солнечной радиации в электрическую энергию. Действие солнечных элементов основано на использовании явления внутреннего фотоэффекта (Приложение лист стр22, рис.5–6). Первые солнечные элементы с практически приемлемым КПД преобразования (~6%) были разработаны Г. Пирсоном, К. Фуллером и Д. Чапиным (США) в 1953–54 годах. Распространённые материалы для солнечных элементов (СЭ) – Si, GaAs; реже используются CdS, CdTe. Наиболее высокий КПД получен в СЭ из Si со структурой, имеющей электронно-дырочный переход, и в СЭ на основе GaAs с полупроводниковым гетеропереходом (18%) (Приложение лист III, таблица 3). Конструктивно солнечные батареи, обычно выполняют в виде плоской панели из СЭ, сверху защищенных прозрачными покрытиями. Число СЭ в батарее может достигать нескольких сотен тысяч, площадь панели – десятков м<sup>2</sup>, ток достигает сотен ампер, напряжение – десятков вольт, генерируемая мощность – нескольких десятков кВт. (в космических условиях). Основу фотоэлементов составляет полупроводниковая структура с р–n переходом (Приложение стр22, рис.7), возникающим на границе двух полупроводников с различными механизмами проводимости. Получают различные типы проводимости путем изменения типа введенных в полупроводник примесей. Так, например, атомы III группы Периодической системы Д.И. Менделеева, введенные в кристаллическую решетку кремния, придают дырочную (положительную) проводимость, а примеси V группы – электронную (отрицательную). Контакт р- или n-полупроводников приводит к образованию между ними контактного электрического поля. При соединении в одном монокристалле полупроводников р- и n-типа возникает диффузионный поток электронов из полупроводника n-типа в полупроводник р-типа и, наоборот, поток дырок из р- в n-полупроводник. В результате такого процесса прилегающая к р–n переходу часть полупроводника р-типа будет заряжаться отрицательно, а прилегающая к р–n переходу часть полупроводника n-типа, наоборот, приобретет положительный заряд. Таким образом, вблизи р–n перехода образуется двойной заряженный слой, который противодействует процессу диффузии электронов и дырок. Действительно, диффузия стремится создать поток электронов из n-области в р-область, а поле заряженного слоя, наоборот, – вернуть электроны в n-область. Аналогичным образом поле в р–n переходе противодействует диффузии дырок из р- в n-область.

В результате двух процессов, действующих в противоположные стороны (диффузии и движения носителей тока в электрическом поле), устанавливается стационарное, равновесное состояние: на границе возникает заряженный слой, препятствующий проникновению электронов из n – полупроводника, а дырок из р-полупроводника. Другими словами, в области р–n перехода возникает энергетический (потенциальный) барьер, для преодоления которого электроны из n-полупроводника и дырки из р-полупроводника должны затратить определенную энергию. При поглощении света в полупроводнике возбуждаются электронно-дырочные пары. В однородном полупроводнике фотовозбуждение увеличивает только энергию электронов и дырок, не разделяя их в пространстве, то есть электроны и дырки разделяются в «пространстве энергий», но остаются рядом в геометрическом пространстве. Для разделения носителей тока и появления фотоэлектродвижущей силы (фото – ЭДС) должна существовать дополнительная сила. Наиболее эффективное разделение неравновесных носителей имеет место именно в области р–n перехода. Генерированные вблизи р–n перехода «неосновные» носители (дырки в n-полупроводнике и электроны в р-полупроводнике) диффундируют к р–n переходу, подхватываются полем р–n перехода и выбрасываются в полупроводник, в котором они становятся основными носителями: электроны будут локализоваться в полупроводнике n-типа, а дырки – в полупроводнике р-типа. В результате полупроводник р-типа получает избыточный положительный заряд, а полупроводник n-типа – отрицательный. Между n- и р-областями фотоэлемента возникает разность потенциалов – фото – ЭДС. При этом величина фото – ЭДС в широком диапазоне освещенностей растет пропорционально логарифму интенсивности света. При коротком замыкании освещенного р–n перехода в электрической цепи потечет ток, пропорциональный по величине интенсивности освещения и количеству генерированных светом электронно-дырочных пар. При включении в электрическую цепь полезной нагрузки, величина тока в цепи несколько уменьшится. Обычно электрическое сопротивление полезной нагрузки в цепи солнечного элемента выбирают таким, чтобы получить максимальную отдаваемую этой нагрузке электрическую мощность. Коэффициент фотоэлектрического преобразования для различных типов фотоэлементов представлен в приложении (с. 22, таблица 3).

#### 4.2. Принцип работы термогенератора (элемента Пельтье) [12–19]

Эффект Зеебека состоит в том, что в замкнутой цепи из двух разнородных проводников появляется ЭДС, если места спаев проводников находятся при разных температурах. Например, горячий спай находится в сосуде с кипящей водой, а другой в чашке с тающим льдом. Эффект возникает от того, что энергия свободных электронов зависит от температуры. При этом электроны начинают перемещаться от проводника, где они имеют более высокую энергию в проводник, где энергия зарядов меньше. Если один из спаев нагрет больше другого, то разность энергий зарядов на нем, больше, чем на холодном. Поэтому, если цепь замкнута, в ней возникает ток, именно та самая термо – ЭДС (Приложение стр23, рис. 8). Приблизительно величину термо – ЭДС можно определить по простой формуле:  $E = \alpha \times (T_1 - T_2)$ , где  $\alpha$  – коэффициент термо – ЭДС, который зависит только от металлов, из которых составлена термопара или термоэлемент. Его значение обычно выражается в милливольтх на градус. В основе работы элементов Пельтье лежит контакт двух токопроводящих материалов с разными уровнями энергии электронов в зоне проводимости (Приложение стр23, рис. 9). При протекании тока через контакт таких материалов, электрон должен приобрести энергию, чтобы перейти в более высокоэнергетическую зону проводимости другого полупроводника. При поглощении этой энергии происходит охлаждение места контакта полупроводников. При протекании тока в обратном направлении происходит нагревание места контакта полупроводников, дополнительно к обычному тепловому эффекту. При контакте металлов эффект Пельтье настолько мал, что незаметен на фоне омического нагрева и явлений теплопроводности. Поэтому при практическом применении используются контакт двух полупроводников. Элемент Пельтье, состоит из одной или более пар небольших полупроводниковых параллелепипедов – n-типа и p-типа (обычно теллурида висмута,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  и германида кремния), которые попарно соединены при помощи металлических перемычек. Металлические перемычки одновременно служат термическими контактами и изолированы непроводящей плёнкой или керамической пластинкой. Пары параллелепипедов соединяются таким образом, что образуется последовательное соединение многих пар полупроводников с разным типом проводимости, так чтобы вверху были одни последовательности соединений (n->p), а снизу противоположные (p->n). Электрический ток протекает по-

следовательно через все параллелепипеды. В зависимости от направления тока верхние контакты охлаждаются, а нижние нагреваются – или наоборот.

#### 5. Изготовление модульных зарядных устройств

Изготовление модулей зарядных устройств проходило последовательно, с последующей проверкой их характеристик. Надо отметить, что в большинстве случаев напряжение и токи, выдаваемые солнечными модулями Пельтье нестабильны, и не соответствуют необходимым параметрам для использования в зарядных устройствах. Поэтому объективным является применение схем преобразования и стабилизации выходных параметров.

##### 5.1. Методы улучшения выходных характеристик солнечных и термогенераторных преобразователей

###### 5.1.1. DC-DC преобразователи

Наиболее практичным решением повышения выходного напряжения является использование DC-DC преобразователя на основе релаксационного генератора. Способ крайне простой, но весьма эффективный. Релаксационный генератор способен работать от крайне низкого напряжения (от 0,3 В) и, следовательно, полностью использовать низковольтные выходные характеристики солнечных и теплогенераторных модулей. Схемотехническое решение этой схемы не позволяет стабилизировать выходные параметры (ни напряжение, ни ток), ограничивая потребление только забираемым током посредством резистора. Схема состоит всего из трёх элементов: катушка индуктивности с обмоткой обратной связи, транзистор и токоограничивающий резистор (приложение с. 23, рис. 10). Преобразователь построен по принципу вольтодобавочного преобразователя с релаксационным генератором на одном транзисторе с индуктивной обратной связью. Цикл работы состоит из двух фаз – фазы накопления энергии в индуктивности и фазы отдачи энергии в нагрузку. В первой фазе ток, протекающий от источника питания через первичную обмотку, попадает на базу транзистора, открывая его. Это вызывает протекание возрастающего тока через индуктивность. При этом на вторичной обмотке создаётся дополнительная разность потенциалов, удерживающая транзистор в открытом состоянии. Когда рост тока через основную обмотку индуктивности прекратится из-за ограничения транзистором ( $I_{\text{к max}} = I_{\text{б h}_{21\lambda}}$ ), транзистор закроется за счёт падения напряжения

на вторичной обмотке индуктивности. Пока транзистор закрыт, во второй фазе, энергия отдаётся в нагрузку. При этом уменьшающийся в основной обмотке ток наводит на вторичной обмотке ЭДС обратного знака, удерживающую транзистор в закрытом состоянии. Когда ток во вторичной обмотке упадёт до нуля, наведённая ЭДС на вторичной обмотке исчезнет, транзистор откроется, и цикл начнётся сначала. Варианты схемотехнических решений преобразователя, размещены в приложении (с. 23, рис. 11) Единственная изготавливаемая деталь преобразователя, катушка индуктивности. Намотка ведётся двумя проводами на ферритовое кольцо, до его заполнения (приложение с. 24, рис. 12–14). Проверка преобразователей показала их высокую эффективность.

### *5.1.2. Стабилизация выходных параметров*

Стабилизаторы в виде одной микросхемы очень широко применяются во всех типах радиолюбительских, промышленных и прочих электронных конструкций для получения стабильных выходных параметров напряжения. Интегральные стабилизаторы очень эффективны в работе и малогабаритны, что делает их широко применяемыми (приложение стр. 24, рис. 5). Типовая схема включения стабилизатора серии 78L, приведена в приложении (стр. 24, рис. 16). Емкость С1 на входе требуется для срезания высокочастотных помех при подаче входного напряжения. Емкость С2 но уже на выходе стабилизатора задает стабильность напряжения при резком изменении тока нагрузки, а так же существенно снижает степень пульсаций. При проектировании требуется помнить, что для нормальной работы стабилизатора 78L напряжение на входе должно быть не ниже 5В, что достигается схемой DC-DC преобразователя.

### *5.2. Солнечные модульные зарядные устройства*

В работе использовались несколько типов солнечных модулей. Первый тип – солнечные модули фирмы Velleman изготовленные на основе фотодиодов. Второй тип модулей – модули из монокристаллического кремния (производство США) Третий тип – модули из поликристаллического кремния, и четвёртый из аморфного кремния (гибкие тонкоплёночные) (Приложение с. 25, рис. 17).

### *5.3. Экспериментальная проверка выходных параметров солнечных модулей*

Проверка эффективности работы различных типов солнечных модулей осуществлялась на стенде оснащённом регулиру-

емым источником света (макс. мощность 1000Вт), амперметром и вольтметром. Для объективности показателей, при исследовании, применялись сборки модулей (по 4 элемента) примерно одинаковой выходной мощности. Типы проверяемых модулей, схема соединения модулей и схема проверочного стенда представлены в приложении (с. 25–26, рис. 17–19). В результате проверки выяснилось, что наиболее стабильные показатели при средней и высокой степени освещённости у монокристаллических и поликристаллических кремниевых модулей. Уже при средней освещённости выдаваемое ими напряжение составило 3 и более вольт при токе 0,2 ампера. При высокой степени освещённости, напряжение составило 5 и более вольт при токе 0,4 ампера. Таким образом, средняя мощность сборок из моно и поликристаллического кремния составляет 2 ватта. Наиболее худшие показатели у фотодиодных модулей. При высокой степени освещённости (1000 Вт) максимальное напряжение составило 4,4 В. при токе 0,4 А. Модули из аморфного кремния (гибкие тонкоплёночные) занимают по показателям промежуточное положение, уступая по характеристикам моно и поликристаллическим модулям (Приложение, рис. 20–21). Вторым этапом проверки эффективности работы модулей, была проверка их работы со схемой преобразования и стабилизации выходного напряжения (Приложение с. 27, рис. 22). В этом случае усреднённые показатели работоспособности примерно одинаковые. Различия состоят в пороге срабатывания преобразователя. У кремниевых модулей точка начала работы преобразователя (1,5 В) находится в пределах освещённости 200–250 Вт. У фотодиодных модулей этот порог выше 300–350 Вт. При средней и высокой степени освещённости показатели выравниваются за счёт работы схемы преобразователя и системы стабилизации напряжения. Максимальная мощность всех исследованных модулей, при стабилизированном напряжении 5В составляет 2 Вт (Приложение, рис. 23–24).

### *5.4. Разработка зарядных устройств с использованием солнечных модулей*

Исходя из данных проверки эффективности работы солнечных модулей и их технологического исполнения, для изготовления зарядных устройств был выбран вариант использования тонкоплёночных гибких модулей выполненных на основе аморфного кремния. Второй вариант-использование фотодиодных модулей благодаря их прочности и высокой защищённости от факторов внешней среды. Наиболее

подходящим вариантом, являются тонкоплёночные модули из аморфного кремния. Несмотря на более худшие показатели выходных характеристик по сравнению с моно и поликристаллическими модулями их технологическое исполнение наиболее полно отвечает поставленным задачам при изготовлении зарядной станции и её эксплуатации. Основу зарядной станции составляют четыре тонкоплёночных модуля соединённых последовательно. Выход модулей подключен к повышающему DC-DC преобразователю, который определяет порог работы устройства уже при средней освещённости солнечной батареи. Система стабилизации напряжения позволяет получить стабильное напряжение 5В при средней и высокой степени освещения солнечных преобразователей. Схема зарядного устройства, его внешний вид, и график выходных параметров приведены в приложении (лист IX, рис. 25–27). У фотодиодных модулей напряжение одного модуля при полной освещённости составляет 2В при токе 200 мА. Для изготовления батареи, мы использовали 6 модулей соединённых последовательно. При этом максимальное напряжение при полной освещённости батареи получилось 11.2–11.5 В., при токе около 200 мА. Для большей компактности устройства, мы разместили модули по 3 в виде закрывающейся книги. В нижней части устройства, где соединяются проводники модулей, размещены два стабилизатора напряжения для получения фиксированных напряжений 9В и 5В с целью возможности зарядки мобильного телефона и частичной подзарядки планшетного компьютера. Стабилизаторы напряжения применены микросхемного типа, для уменьшения габаритов устройства. В качестве фиксированного стабилизатора применена микросхема 78L05, на выходе которой получается напряжение 5 В. В качестве стабилизатора напряжения 9 В, применена микросхема 78L09. Микросхемы подключены к солнечной батарее по типовой схеме. Все монтажные соединения с целью влагозащиты и предохранения от повреждений залиты герметиком. Фотографии и характеристики зарядного устройства приведены в приложении (стр. 28–29, рис. 28–31).

#### 5.5. Термоэлектрический преобразователь [21]

Элемент Пельтье лучше всего брать с максимальным количеством ветвей (термоэлементов). Мы приобрели TEC1–127120–50 (у него 127 элементов), на 12А в режиме охлаждения. Можно брать и на меньший ток (для наших целей данный

элемент оказался гораздо мощнее необходимого). Напряжение на выходе элемента (при охлаждении внешней пластины) составляет около 3В. Ток – до 1.5А. Характеристики некоторых элементов приводятся в приложении (стр. 29, рис. 32). Конструкция самого термогенератора представляет собой следующее, два алюминиевых цилиндра (использованы подходящие кружки) вставленные друг в друга, между которыми помещён элемент TEC1–127120–50. Обе стороны элемента, при сборке обработаны термопастой, а пространство не занятое элементом заполнено термостойким герметиком. Конструкция термогенератора и фотографии устройства представлены в приложении (с. 30, рис. 33). Испытание модуля термогенератора показали следующие результаты: При охлаждении внутренней полости холодной водой или снегом напряжение 3,5 В, ток 1,5А. При кипящей воде в кружке на электрической плите мощность падает примерно в 3 раза (при этом напряжение падает до 1.2В). Графическая зависимость от нагревания представлена в приложении (с. 30, рис. 34). При проверке модуля выяснилось, что внешний стабилизатор на микросхеме 78L05 не может обеспечить выходное напряжение 5 вольт, поэтому в электронном блоке зарядного устройства пришлось применить схемы преобразования напряжения и тока (Приложение с. 30, рис. 35).

#### Заключение

В результате проделанной работы, разработаны конструкции мобильных зарядных устройств преобразующих солнечную и тепловую энергию в электрическую. На основе разработок, изготовлены рабочие экземпляры устройств. В ходе испытаний рабочих экземпляров, определены выходные характеристики по напряжению и току. Испытания показали, возможность использования изготовленных устройств, для зарядки маломощной мобильной техники. Зарядные устройства можно использовать в походных условиях, длительных поездках и в других случаях, когда отсутствует обычный источник электрической энергии. Зарядные устройства прошли испытание в походных условиях и показали хорошие, и стабильные результаты при зарядке мобильной техники.

#### Список литературы

1. Андреев В.М. Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии // Соросовский образовательный журнал, 1996.
2. Алферов Ж.И. Фотоэлектрическая солнечная энергетика // Будущее науки. – М.: Знание, 1978.

3. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. – Л.: Наука, 1989.
4. Байерс Т. 20 конструкций с солнечными элементами / пер. с англ. С.В. Сидорова; под. ред. М.М. Колтуна. – М., Мир, 1988.
5. Васильев А.М., Ландсман А.П. Полупроводниковые фотопреобразователи. – М.: Сов. радио, 1971.
6. Грилихес В.А., Орлов П.П., Попов Л.Б. Солнечная энергия и космические полеты. – М., Наука, 1984.
7. Горшков Б.И. Элементы радио-электронных устройств. – М.: Радио и связь, 1988.
8. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. – М., Наука, 1985.
9. Кораблев В.А., Тахистов Ф.Ю., Шарков А.В. Прикладная физика. Термоэлектрические модули и устройства на их основе: Учебное пособие / Под ред. проф. А.В. Шаркова. – СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2003.
10. Колтун М.М. Солнечные элементы. – М., Наука, 1987.
11. Наркевич И.И. Физика: Учеб. / И.И. Наркевич, Э.И. Вомянский, С.И. Лобко. – Мн.: Новое знание, 2004.
12. Термоэлектрические генераторы / А.С. Охотин, А.А. Ефремов, В.С. Охотин, А.С. Пушкарский. – М.: Атомиздат, 1971.
13. Энергосберегающие технологии / А.М. Петрова, А.М. Афонин, Ю.Н. Царегородцев, С.А. Петрова; Форум, 2011.
- Гибилиско С. Alternative Energy: A Self-Teaching Guide. – М.: Эксмо-Пресс, 2010.
14. Физика: Энциклопедия / под. ред. Ю.В. Прохорова. – М.: Большая Российская Энциклопедия, 2003.
15. Шаповал Н.В. Курсовая работа. Эффект Пельтье и его применение / Брянский государственный технический университет.
16. Шостаковский П. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники // Компоненты и технологии. – 2009. – № 12.
17. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике: для инженеров и студентов вузов. – Изд. 4-е, перераб. / Наука – Главная редакция Физико-математической литературы, 1968.
18. Mukund R. Patel. Ветровые и солнечные энергетические установки. Проектирование, Анализ и Эксплуатация / CRC Press. 2005.
19. Полупроводниковые холодильники Пельтье. – <http://www.ixbt.com/cpu/peltje.html>.
20. Термогенератор Пельтье своими руками. – <http://tutankanara.livejournal.com/420783.html>.