

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра физики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Бакалаврская работа

Перспективы использования преобразователей солнечной энергии

Автор Махлин Никита Константинович
(фамилия, имя, отчество)

Автор профессор физико-математических наук
(ученая степень, ученое звание)

Потапова Ирина Александровна
(фамилия, имя, отчество)

«...е допускаю»

...ий кафедрой


(подпись)

(ученая степень, ученое звание)

(фамилия, имя, отчество)

10.04.23 2023г

Санкт-Петербург

2023 г.

Оглавление

Глава 1. Введение	2
Актуальность	3
Цели и задачи	3
Глава 2. Теоретические основы преобразования солнечной энергии	4
2.1. Солнечная энергия и ее свойства	4
2.2. Солнечная радиация	8
Глава 3. Фотоэффект	10
3.1 Фотоэффект	10
3.2 Опыт Столетова и основные законы	13
3.3 Вентильный фотоэффект	17
Глава 4. Технические аспекты солнечных преобразователей	19
4.1 Описание технологий изготовления солнечных батарей	19
4.2 Принцип работы солнечной батареи	21
4.3 Методика расчета солнечной электростанции	30
Глава 5. Современные технические решения повышения КПД у солнечных батарей	37
5.1. Использование оптических усилителей	37
5.2. Перовскитовый материал	41
Глава 6. Экономическая эффективность использования солнечной энергии	48
6.1. Главные факторы ценообразования	48
6.2. Расчет эффективности и окупаемости использования солнечной энергии	49
6.4. Экономические аспекты использования солнечных преобразователей	52
Глава 7. Проблематика использования солнечной энергии	53
7.1. Фундаментальные проблемы использования солнечной энергии	53
7.2. Технические проблемы использования солнечной энергии	54
7.3. Экологические проблемы использования солнечной энергии	56
Глава 8. Перспективы использования солнечной энергии в России	57
8.1. Проблемы и перспективы использования солнечной энергии в России	57
8.2 Анализ перспектив применения солнечной энергии в России	59
Глава 9. Заключение	61
Выводы:	62
Список использованной литературы:	63
Приложение 1	68
Приложение 2	89
Приложение 3	95
Приложение 4	101

Приложение 5	106
Приложение 6	107
Приложение 7	108
Приложение 8	109
Приложение 9	111
Приложение 10	113
Приложение 11	118
Приложение 12	121
Приложение 13	129
Приложение 14	135
Приложение 15	139
Приложение 16	143

Глава 1. Введение

Важность темы дипломной работы "Перспективы использования солнечной энергии" не подлежит сомнению в свете современных экологических проблем и растущей потребности в альтернативных источниках энергии. Несмотря на то, что солнечная энергия уже давно используется для производства электроэнергии, она все еще является малоиспользуемым ресурсом. Однако, современные технологии в области солнечной энергии позволяют значительно увеличить эффективность и экономическую целесообразность ее использования. Поэтому, изучение перспектив использования солнечной энергии имеет огромное значение для решения экологических проблем и обеспечения устойчивого развития нашей планеты. Кроме того, развитие солнечной энергетики может иметь значительный экономический потенциал и создать новые рабочие места в этой отрасли. Все это делает данную тему актуальной и значимой для научного и практического изучения.

Использование солнечной энергии может существенно снизить зависимость от нефтепродуктов и других источников энергии, которые в настоящее время становятся все менее доступными и экономически выгодными. В этом контексте, изучение перспектив использования солнечной энергии является необходимым для обеспечения энергетической безопасности и устойчивого развития экономики.

Стоит отметить, что солнечная энергия является одним из наиболее экологически чистых источников энергии, не имеющим отрицательного влияния на окружающую среду. Это в свою очередь позволяет решать проблемы экологического загрязнения и климатических изменений. Поэтому, изучение перспектив использования солнечной энергии является актуальным и необходимым для сохранения природных ресурсов и биоразнообразия.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что тема данной работы имеет большое значение для научного и практического изучения и решения современных экологических проблем. Ее изучение может привести к созданию новых технологий и способов использования солнечной энергии, что в свою очередь сделает нашу жизнь более комфортной и безопасной, а также позволит сохранить природные ресурсы и обеспечить устойчивое развитие нашей планеты.

Актуальность работы заключается в исследовании и анализе преобразователей солнечной энергии как альтернативных источников энергии, способных обеспечить устойчивое развитие человечества в условиях ограниченности ресурсов и изменения климата, позволяющих сократить зависимость от нефтяных и газовых ресурсов, снизить уровень выбросов вредных веществ в атмосферу, что является важным фактором для сохранения экологического баланса на планете. а так же в оценке возможного снижения затрат на энергию.

Цели и задачи

Целью данной работы является исследование перспективности солнечных преобразователей

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучение существующих преобразователей солнечной
2. Определение оптимальных условий эксплуатации (температуры, обстановки, расположения и т.д.) преобразователей солнечной энергии для достижения максимальной эффективности.
3. Исследования современных технических решений повышения потенциала солнечных преобразователей, их преимуществ и недостатков.
4. Выявления основных экологических проблем, сравнения преимущества использования солнечной энергии и традиционных источников энергии по экологическим аспектам, экологической

значимости их использования, дать оценку воздействия на окружающую среду.

5. Оценивания экономических аспектов использования солнечных преобразователей, провести расчет окупаемости солнечной электростанции для трех городов в разных климатических поясах
6. Оценка технологических и фундаментальных проблем использования солнечных преобразователей.
7. Проведения анализа солнечно-энергетической сферы, а также исследования потенциала солнечной энергетике в РФ .

Глава 2. Теоретические основы преобразования солнечной энергии

2.1. Солнечная энергия и ее свойства

Солнечная энергия имеет важное значение для начала жизни на Земле. Источником этой энергии является Солнце, которое имеет огромный размер - его примерный радиус составляет 695300 км, а масса - около 2×10^{30} кг. Температура поверхности Солнца достигает около 60000С, а внутри него - около 400000000 С. За год Солнце излучает около $1,3 \times 10^{24}$ кал энергии в космическое пространство. Солнце является звездой, в которой непрерывно происходят термоядерные реакции. Эти процессы порождают огромное количество энергии, которая частично нагревает атмосферу нашей планеты. Солнце излучает приблизительно $1,1 \times 10^{20}$ кВт ч энергии в секунду. Но только одна миллионная часть этой энергии, или приблизительно 1500 квадрильонов ($1,5 \times 10^{18}$) кВт·ч ежегодно, перехватывается внешними слоями атмосферы Земли. Из-за отражения, рассеивания и поглощения атмосферными газами и аэрозолями, лишь 47% всей энергии - приблизительно 700 квадрильонов (7×10^{17}) кВт·ч, достигает поверхности Земли. Солнечное излучение в атмосфере Земли делится на два типа: прямое излучение, которое падает непосредственно на поверхность, и рассеянное излучение, которое удерживается частицами воздуха, пылью, водой и другими веществами в атмосфере. Количество энергии, которое падает на единицу площади в

единицу времени, зависит от многих факторов, таких как широта, сезон, угол наклона поверхности по отношению к Солнцу и другие.

Солнечная энергия имеет ряд свойств, которые делают ее уникальной и полезной:

- **Обилие** - солнечная энергия является яркой источник энергии, поскольку солнце является ярким, регулярным источником света и тепла. Каждый день солнечная энергия падает на поверхность Земли, и каждая минута энергии, которую получает Земля от Солнца, эквивалентна 2,5 триллионам ватт.

- **Экологическая чистота** - в отличие от других источников энергии, солнечная энергия не содержит токсичных веществ и не выделяет вредных выбросов в атмосферу. Не нужно сжигать топливо для ее создания, что означает, что она не загрязняет окружающую среду.

- **Надежность** - Солнце появляется на небе каждый день, поэтому производство электроэнергии на основе солнечной энергии предсказуемо и надежно.

- **Гибкость** - солнечная энергия может быть используется в различных масштабах, от портативных устройств до промышленных станций. Кроме того, солнечная энергия может использоваться в любое время дня и в любом месте, если использовать энергосберегающие батареи для складирования электроэнергии.

- **Экономическая эффективность** - солнечная энергия за последние несколько десятилетий стала более доступна для потребителей, и ее использование становится все более экономически эффективным, особенно в регионах с высокой солнечной активностью.

- **Долговечность** - Солнечные панели, используемые для получения солнечной энергии, довольно долговечны. Они не требуют регулярного

обслуживания и могут работать без проблем на протяжении нескольких десятилетий.

- Минимум зависимости от поставщиков электроэнергии - использование солнечной энергии позволяет уменьшить зависимость от энергетических корпораций и уменьшить риски отключения электроснабжения в экстренных ситуациях.

- Повышение энергетической безопасности - использование солнечной энергии способствует повышению энергетической безопасности государства. Снижение зависимости от импортируемых источников энергии улучшает экономическую стабильность и уменьшает риски геополитических конфликтов.

- Защита от климатических изменений - использование солнечной энергии является частью стратегии защиты от изменения климата. Она позволяет снизить выбросы парниковых газов, таких как диоксид углерода, основной причины глобального потепления.

- Инновационность - разработка новых технологий для получения солнечной энергии стимулирует развитие инноваций и появление новых рабочих мест. Это в свою очередь способствует экономическому росту и содействует созданию устойчивой грядущей экономики.

Таким образом, свойства солнечной энергии, такие как ее экологическая чистота, надежность, гибкость, экономическая эффективность, долговечность, и инновационность повышают ее важность в качестве альтернативного источника энергии.

Без солнечных излучений был бы невозможным:

Круговорот воды в природе. Именно благодаря воздействию Солнца испаряется вода. Именно этот процесс запускает циркуляцию влаги на Земле. Повышение и понижение температуры влияет на образование облаков и выпадение осадков.

Фотосинтез. Процесс, благодаря которому поддерживается баланс углекислого газа и кислорода, образуются необходимые для развития и роста растений вещества также происходит с помощью солнечных лучей.

Циркуляция атмосферы. Солнце влияет на процессы перемещения воздушных масс и теплорегуляции.

Солнечная энергия – это основа существования жизни на Земле. Но на этом ее благотворное воздействие не заканчивается. Для человечества солнечная энергия может быть полезной как альтернативный источник энергии.

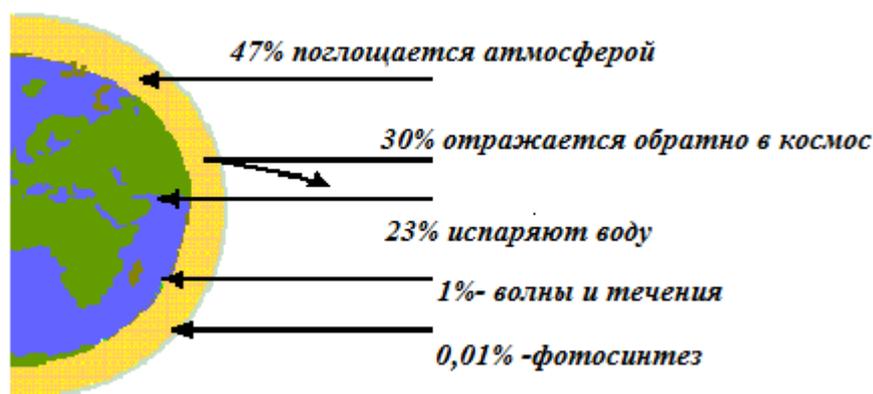


Рисунок 1- Попадание солнечного излучения.

В настоящее время различают 2 наиболее популярный способа преобразования солнечной энергии:

- Фотовольтаическая система уникальный вид получения электричества, посредством попадания дневного света на панели. Принцип выработки электричества основан на Фотовольтаическом эффекте.

- Гелиотермальная энергетика — один из способов практического использования возобновляемого источника энергии — солнечной энергии, применяемый для преобразования солнечной радиации в тепло воды или легкокипящего жидкого теплоносителя. Гелиотермальная энергетика применяется как для промышленного получения электроэнергии, так и для нагрева воды для бытового применения. гелиотермальная энергетика.

2.2. Солнечная радиация

Солнце – источник света и тепла, в котором нуждается все живое на Земле. Но помимо фотонов света, оно излучает жесткую ионизирующую радиацию, состоящую из ядер и протонов гелия.

Солнечная радиация образуется в дневные часы во время хромосферных вспышек – гигантских взрывов, происходящих в атмосфере Солнца. Часть солнечного вещества выбрасывается в космическое пространство, образуя космические лучи, главным образом состоящие из протонов и небольшого количества ядер гелия. Эти заряженные частицы спустя 15-20 минут после того, как солнечная вспышка становится видимой, достигают поверхности земли.

Воздух отсекает первичное космическое излучение, порождая каскадный ядерный ливень, который затухает с понижением высоты. При этом рождаются новые частицы – пионы, которые распадаются и превращаются в мюоны. Они проникают в нижние слои атмосферы и попадают на землю, зарываясь вглубь до 1500 метров. Именно мюоны отвечают за образование вторичного космического излучения и естественной радиации, воздействующей на человека.

Солнце на Землю посылает просто колоссальное количество энергии. Например, количество солнечной радиации, которая поступает на площадь равную 10 м² в безоблачный летний день, составляет порядка 7-9 кВт. Однако, стоит отметить, что количество солнечной радиации, поступающей на Землю, зависит от множества разнообразных факторов. Среди них можно выделить следующие:

- угол падения солнечных лучей;
- продолжительность светлого времени суток;
- облачность.

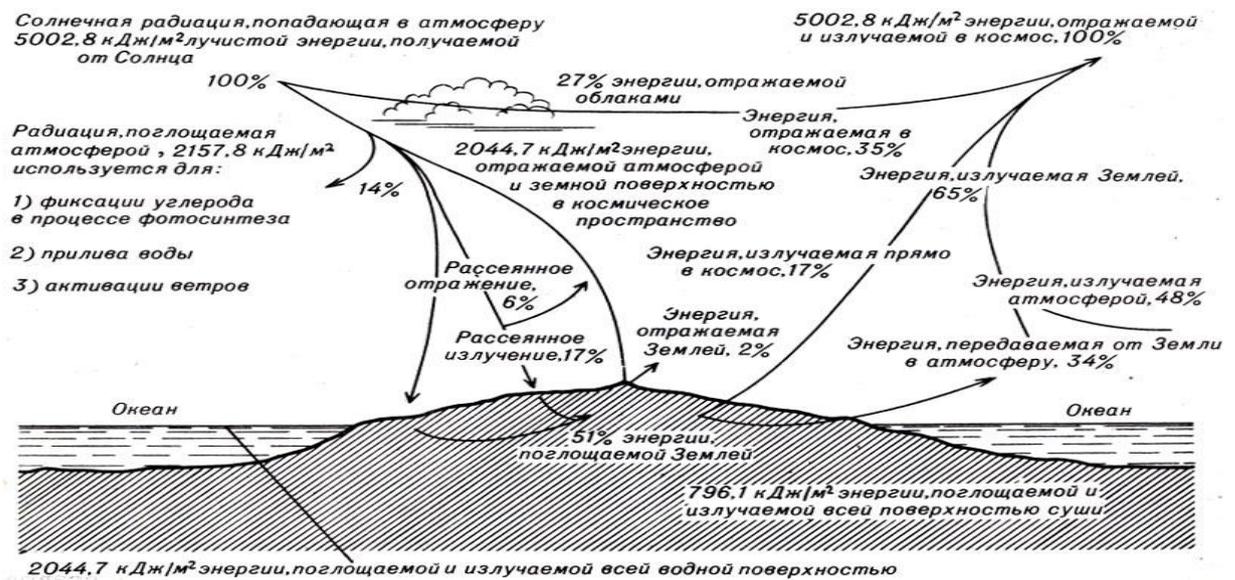


Рисунок 2- Воздействие солнечной радиации.

Солнечная радиация - это электромагнитное излучение, сосредоточенное в основном в диапазоне волн длиной 0,28...3,0 мкм. Солнечный спектр состоит из:

- ультрафиолетовых волн длиной 0,28...0,38 мкм, невидимых для наших глаз и составляющих приблизительно 2 % солнечного спектра;
- световых волн в диапазоне 0,38 ... 0,78 мкм, составляющих приблизительно 49 % спектра;
- инфракрасных волн длиной 0,78...3,0 мкм, на долю которых приходится большая часть оставшихся 49 % солнечного спектра.

Остальные части спектра играют незначительную роль в тепловом балансе Земли.



Рисунок 3- Спектр солнечного излучения за пределами атмосферы и на уровне моря.

Больше 95% излучения Солнца проходит через оптический диапазон, включая прилегающие области инфракрасных и ультрафиолетовых волн. Однако, при прохождении через слои атмосферы, солнечное излучение ослабевает, и почти все ионизирующее излучение, рентгеновские лучи и почти 98% ультрафиолета останавливаются земной атмосферой. К земле доходит преимущественно видимый свет и инфракрасное излучение, но эти виды излучения также поглощаются молекулами газов и частицами пыли в атмосфере. Это значит, что солнечное излучение не приводит к заметному увеличению радиоактивного излучения на поверхности Земли. Солнечное излучение и космические лучи вместе составляют только 0,3 мЗв/год в общей годовой дозе облучения, хотя этот уровень может отличаться в зависимости от местоположения.

Глава 3. Фотоэффект

3.1 Фотоэффект

Фотоэффект – это явление, при котором фотоны света выбивают электроны из металла. Это явление было открыто в 1887 году немецким физиком Генрихом Герцем. Фотоэффект имеет огромное значение для физики

и технологии, и является одним из основных принципов работы солнечных батарей и фотоэлектрических приборов.

Фотоэффект может быть объяснен с помощью квантовой теории света. Согласно этой теории, свет представляет собой поток частиц, называемых фотонами. Фотоны имеют энергию, которая зависит от их частоты. Если фотон попадает на поверхность металла и его энергия достаточно высока, то он может выбить электрон из металла.

Энергия фотона, необходимая для выбивания электрона из металла, называется работой выхода. Работа выхода зависит от типа металла и может быть измерена с помощью фотоэлектрического эффекта. Если фотон имеет энергию, которая меньше работы выхода, то он не сможет выбить электрон из металла.

Фотоэффект также зависит от интенсивности света. Если свет слишком слабый, то фотоны не будут иметь достаточной энергии для выбивания электронов. Если свет слишком яркий, то количество выбитых электронов будет пропорционально интенсивности света.

Объяснить фотоэффект удалось А. Эйнштейну в 1905 г. Для этого он использовал идею М. Планка о том, что, несмотря на волновую природу света, он испускается и поглощается только порциями — квантами. Формула, объединяющая энергию света, его частоту и постоянную Планка, имеет вид:

$$E = h\nu \tag{1}$$

где:

E - обозначает энергию фотона или кванта света

h - постоянная Планка в Дж/с

ν - частоту световой волны в герцах

Эта формула (1) была предложена Альбертом Эйнштейном для объяснения фотоэффекта, и с тех пор она играет важную роль в физике света и квантовой механике.

Формула фотоэффекта довольно проста, однако она позволяет объяснить все ключевые особенности этого явления. Формула связывает энергию фотона (E) с работой выхода электрона из металла (W) и кинетической энергией электрона (K):

$$E = W + K \quad (2)$$

То есть, чтобы фотон мог выбить электрон из металла, его энергия должна быть не меньше работы выхода этого электрона из металла. Если энергия фотона больше работы выхода, то электрон вылетает из металла с некоторой кинетической энергией, равной разности между энергией фотона и работой выхода.

Кроме того, формула (2) объясняет, почему фотоэффект не наблюдается при использовании фотонов с энергией ниже пороговой, а также почему кинетическая энергия электронов увеличивается с увеличением энергии фотонов.

Фотоэффект может быть использован для создания фотоэлектрических приборов, таких как солнечные батареи и фотодиоды. Солнечные батареи используют фотоэффект для преобразования энергии света в электрическую энергию. Фотодиоды используются для обнаружения света и включения электрических цепей при наличии света.

Существует несколько моделей, которые объясняют фотоэффект. Одной из наиболее известных моделей является модель Франка-Герца. Согласно этой модели, атомы газа могут поглощать энергию фотонов света, что приводит к выбиванию электронов. Эти электроны могут быть затем использованы для создания электрического тока.

Фотоэффект является одним из основных принципов работы солнечных батарей и фотоэлектрических приборов. Это явление также имеет важное значение для физики и технологии, и может быть использовано для изучения энергетических уровней атомов и молекул. Современные исследования фотоэффекта продолжаются и могут привести к созданию новых технологий и открытий в физике.

3.2 Опыт Столетова и основные законы

Опыты Столетова

Для изучения данного процесса Столетов использовал фотоэлемент, схема которого и его цепь рассмотрена на рисунке 4.

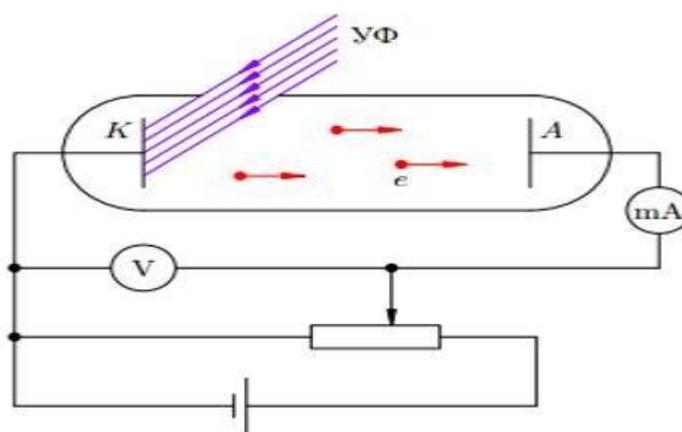


Рисунок 4- Схема опыта Столетова.

Для данного эксперимента ученый взял колбу из стекла(рис.4), из которой полностью откачал воздух. Таким образом, он исключил все свободные атомы, способные помешать электронам двигаться. В колбу вывели электроды, подключенные к источнику напряжения. Поэтому на одном из них был положительный заряд (К), а на втором отрицательный (А)[43].

При этом к трубке был подведен ультрафиолет, который освещал катод. В результате действия света на катод, с него начали выбиваться электроны. Под действием разности потенциалов электроны начали свое движение в

направлении анода. Так как напряжение способствовало направленному движению электронов, то в цепи появился ток. Данный ток получил название фототока, а частицы, вылетевшие с поверхности катода – фотоэлектронами[43].

Законы фотоэффекта

Количественные закономерности фотоэффекта (1888–1889) были установлены А. Г. Столетовым. Он использовал вакуумный стеклянный баллон с двумя электродами.

Первый закон

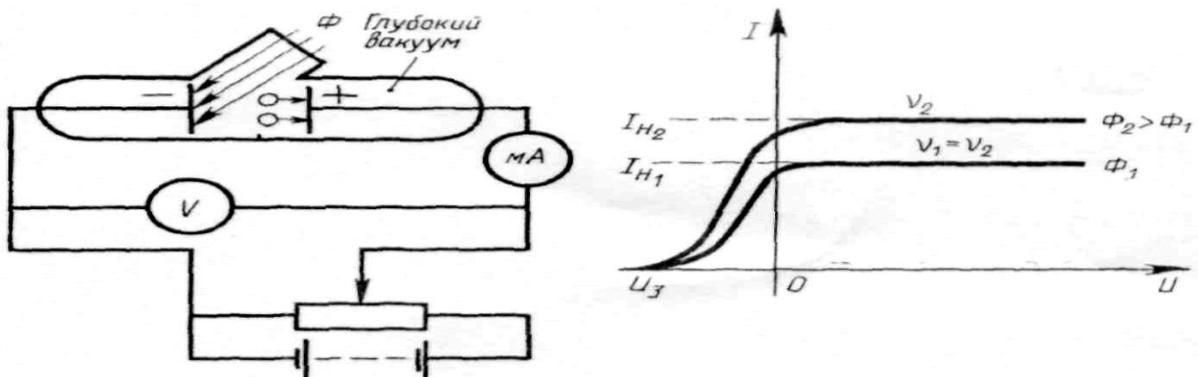


Рисунок 5 - Схема опыта Столетова и график зависимости тока от напряжения[4].

Исследуя зависимость силы тока в баллоне от напряжения между электродами при постоянном световом потоке на один из них, он установил первый закон фотоэффекта[4].

Фототок насыщения пропорционален световому потоку, падающему на металл:

$$I = V \cdot \Phi; \quad (3)$$

Где

Φ – световой поток ;

V - коэффициент пропорциональности, называемый фото чувствительностью вещества;

Следовательно, число электронов, выбиваемых за 1 с из вещества, пропорционально интенсивности света, падающего на это вещество[4].

Второй закон

Изменяя условия освещения на этой же установке, А. Г. Столетов открыл второй закон фотоэффекта: кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а зависит от его частоты[4].

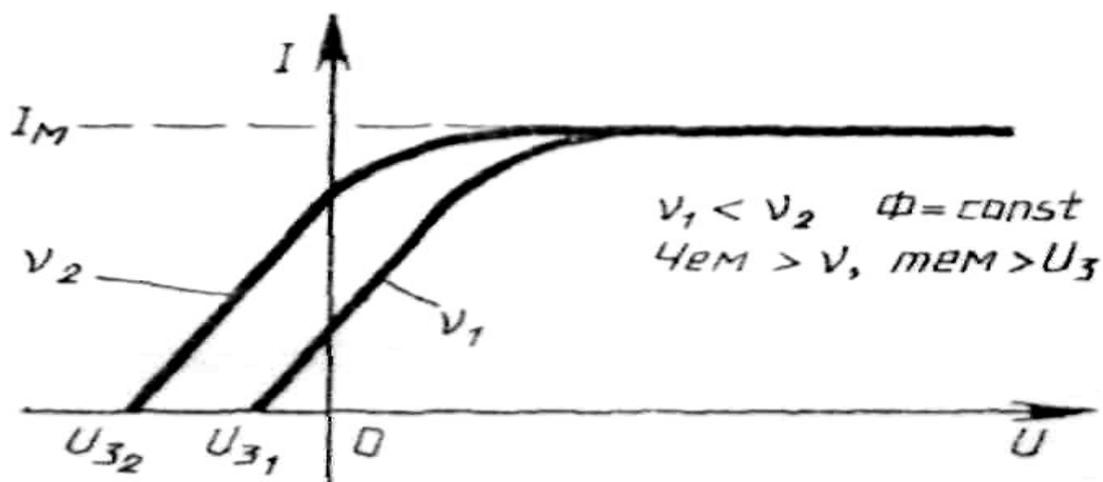


Рисунок 6 - Зависимости тока от напряжения[4].

Если к освещенному электроду подключить положительный полюс батареи, то при некотором напряжении фототок прекратится. Это явление не зависит от величины светового потока[4].

Используя закон сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = U_з e \quad ; \quad (4)$$

e – заряд;

m – масса электрона;

v – скорость электрона;

U_3 – запирающее напряжение,

Можно установить, что если частоту лучей, которыми облучают электрод, увеличить, то $U_{32} > U_{31}$, поэтому $E_{k2} > E_{k1}$. Следовательно, $v_2 > v_1$. Таким образом, кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света. Таким образом, кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света. возрастает с частотой света[4].

Третий закон

Заменяя в приборе материал фотокатода, Столетов установил третий закон фотоэффекта: для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т.е. существует наименьшая частота ν_{\min} , при которой еще возможен фотоэффект. При $\nu < \nu_{\min}$ ни при какой интенсивности волны падающего света на фотокатод фотоэффект не произойдет[4].

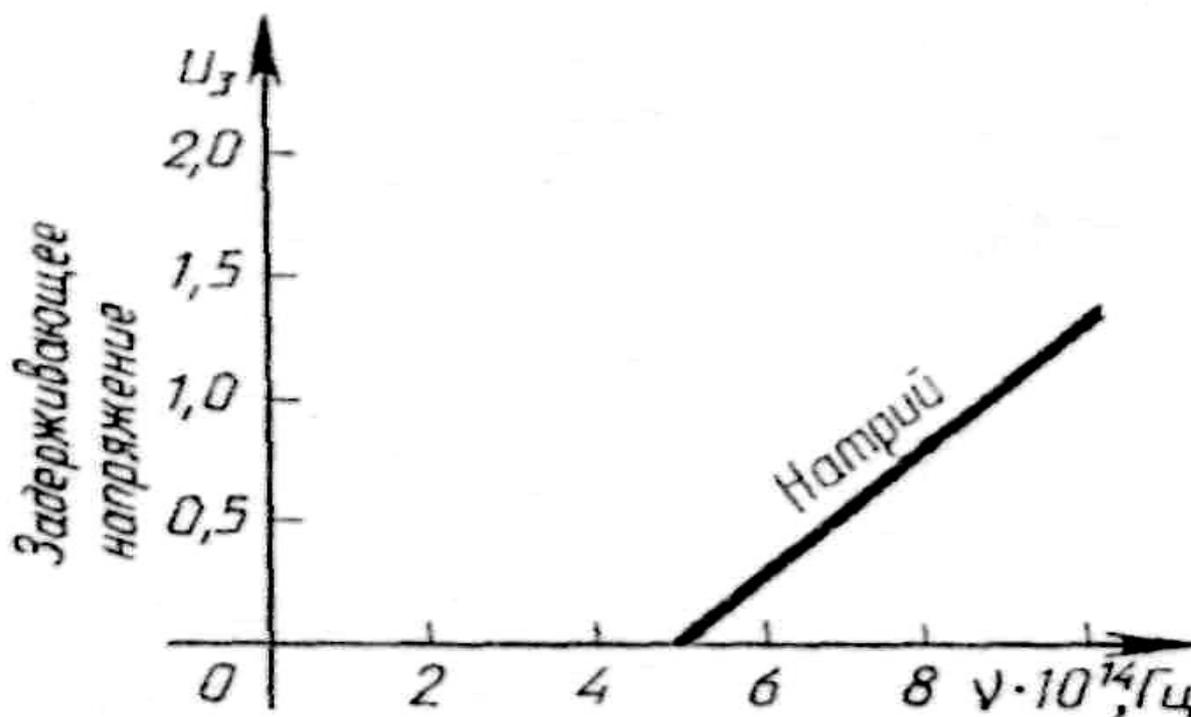


Рисунок 7 – График зависимости напряжения от частоты[4].

При $\nu < \nu_{\min}$ ни при какой интенсивности волны падающего света на фотокатод фотоэффект не произойдет[4].

Противоречие законов фотоэффекта представлениям классической физики **рассмотрено** в приложении 7.

3.3 Вентильный фотоэффект

Вентильным фотоэффектом называется возникновение электродвижущей силы при поглощении квантов излучения оптического диапазона в системе, содержащей контакт двух примесных полупроводников с различным типом проводимости или в системе полупроводник – металл[26].

На рис.8 показана энергетическая диаграмма p-n перехода без освещения (E_c , E_v и E_F - энергии дна зоны проводимости, потолка валентной зоны и уровня Ферми, соответственно, E_g - ширина запрещенной зоны)[26].

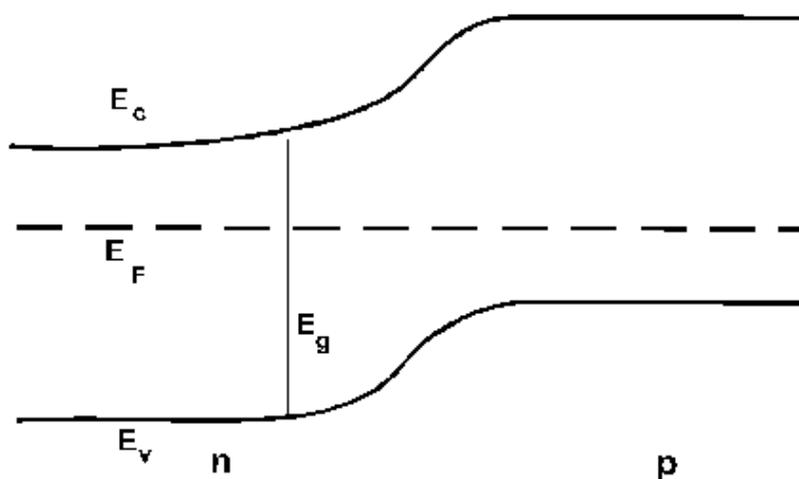


Рисунок 8 - Энергетическая диаграмма p-n перехода без освещения[26].

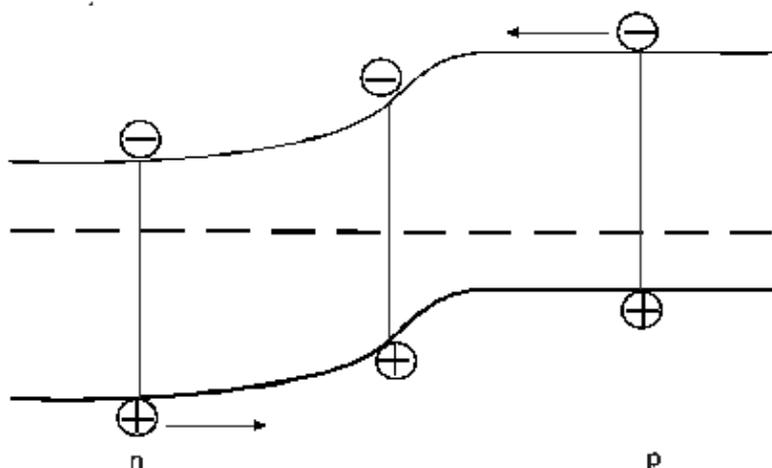


Рисунок 9 - Энергетическая диаграмма p-n перехода при освещении[26].

При освещении системы фотонами с энергией $h\nu > E_g$, свет, поглощенный системой, вызывает переход электронов из валентной зоны в зону проводимости. Это происходит в сопровождении образования дырок в валентной зоне, то есть создается генерация электронно-дырочных пар, как показано на рис. 9. Поведение неравновесных носителей зависит от того, в какой области системы поглощено излучение. Для каждой области важным является поведение неосновных носителей, поскольку именно их плотность может изменяться в широких пределах при освещении. Плотность же основных носителей с обеих сторон границы раздела полупроводников остается практически неизменной. Если излучение поглощается в р-области, то электроны, находящиеся ближе, чем диффузионная длина пробега, к р-п переходу, смогут достичь его и под действием контактного электрического поля перейдут в п-область[26].

Аналогично, если излучение поглощается в п-области, то через р-п переход в р-область выбрасываются только дырки.

Если же пары генерируются в области объемного заряда (р-п перехода), то поле "разводит" носители зарядов таким образом, что они оказываются в той области, где являются основными.

Итак, образованные светом пары, будут разделяться. При этом электроны концентрируются в п-полупроводнике, а дырки - в р-полупроводнике, т.е. р-п переход играет роль "стока" неосновных носителей заряда.

Это накопление зарядов не может продолжаться бесконечно: параллельно с возрастанием концентрации дырок в р-полупроводнике и электронов в п-полупроводнике, возрастает созданное ими электрическое поле, которое препятствует дальнейшему переходу неосновных носителей через запирающий слой.

По мере возрастания этого поля увеличивается и обратный поток неосновных носителей. В конце концов наступит динамическое равновесие,

при котором число неосновных носителей, перемещающихся за единицу времени через запирающий слой, сравнивается с числом тех же носителей, перемещающихся за тот же промежуток времени в обратном направлении.

С наступлением равновесия, между p- и n-полупроводниками устанавливается разность потенциалов, представляющая собой фотоэлектродвижущую силу.

Величина ЭДС возникающее по действием монохроматического света пропорциональна его интенсивности. Рисунок графика зависимости ЭДС от интенсивности в приложении 6.

Генерация вентильной фото-ЭДС при освещении p-n перехода используется для создания фотоприемников, работающих в вентильном режиме и фотоэлектрических преобразователей энергии (например, солнечных батарей).

Использование фотоэффекта в приложении 8.

Преобразование солнечной энергии в приложении 9.

Глава 4. Технические аспекты солнечных преобразователей

4.1 Описание технологий изготовления солнечных батарей

Одна из самых распространенных технологий для изготовления солнечных батарей - это технология кристаллических кремниевых солнечных батарей. На данный момент они составляют более 90% всех солнечных батарей на рынке.

Производство кристаллических солнечных батарей включает в себя следующие шаги:

1. Обработка сырья. Сырьем для производства кристаллических солнечных батарей является кремний - несколько простой, общеизвестный элемент, который является одним из самых распространенных элементов на

земле. Сначала крахмальный порошок кремнезема смешивают с другими химическими веществами для улучшения его свойств.

2. Сверление кремниевых слитков. Полученный материал переводится в порошкообразную форму, затем сверлится в области сердцевины, производят цилиндрические кристаллические слитки.

3. Чистка кристаллов. Следующий этап - нарезка кристаллов на тонкие диски с помощью алмазного инструмента. Далее, эти диски проходят ряд химических обработок, таких как облучение, покрытие фоточувствительными материалами и фиксирование металлических контактов.

4. Сборка батареи. Отдельные диски собираются в ячейки, а ячейки затем соединяются в батарею. Кроме того, батареи могут быть встроены в панели, чтобы упростить их установку.

Существуют также другие методы производства солнечных батарей, такие как ускоренный термический процесс, аморфный кремний, нанотехнологии и другие. Каждая технология имеет свои преимущества и недостатки, и выбор зависит от конкретных условий производства и применения солнечных батарей.

Нанотехнологии, например, позволяют создавать тонкие слои кремния с высокой эффективностью преобразования энергии солнечного света. Эти батареи могут быть гибкими и тонкими, что делает их идеальными для использования в маломощных приложениях, таких как электроника.

Солнечные батареи на основе аморфного кремния также используются для производства электроэнергии. Они производятся путем нанесения тонкого слоя кремния на стеклянную подложку. Батареи на основе аморфного кремния отлично работают при слабом освещении, так что они предпочтительны в условиях недостатка солнечного света.

В целом, выбор технологии зависит от потребности в электроэнергии. Кристаллические кремниевые солнечные батареи являются наиболее эффективными, однако они также являются наиболее дорогими. Батареи на

основе аморфного кремния и использующие нанотехнологии - это более доступные и бюджетные варианты, но их эффективность преобразования солнечной энергии может быть ниже.

Еще одна технология изготовления солнечных батарей - это технология органических солнечных батарей, которая использует полимерные материалы для преобразования солнечного света в электрическую энергию. Эти батареи легче, гибче и просты в производстве, чем кристаллические батареи, и идеальны для использования в некоторых приложениях, таких как маломощные электронные устройства и небольшие зарядные устройства.

Важным фактором в производстве солнечных батарей является выбор материалов, используемых для изготовления батареи. Кроме кремния и полимеров, для изготовления солнечных батарей могут использоваться также другие материалы, такие как титановый диоксид, органические красители, перовскит и другие. Каждый из этих материалов обладает уникальными свойствами и может быть использован для разных типов солнечных батарей.

Технологии производства солнечных батарей динамично развиваются, и их эффективность и доступность постоянно улучшаются. Это связано с улучшением технологий производства, появлением новых материалов, а также с растущим интересом к возобновляемым источникам энергии и с ростом потребности в экологически чистых источниках энергии.

4.2 Принцип работы солнечной батареи

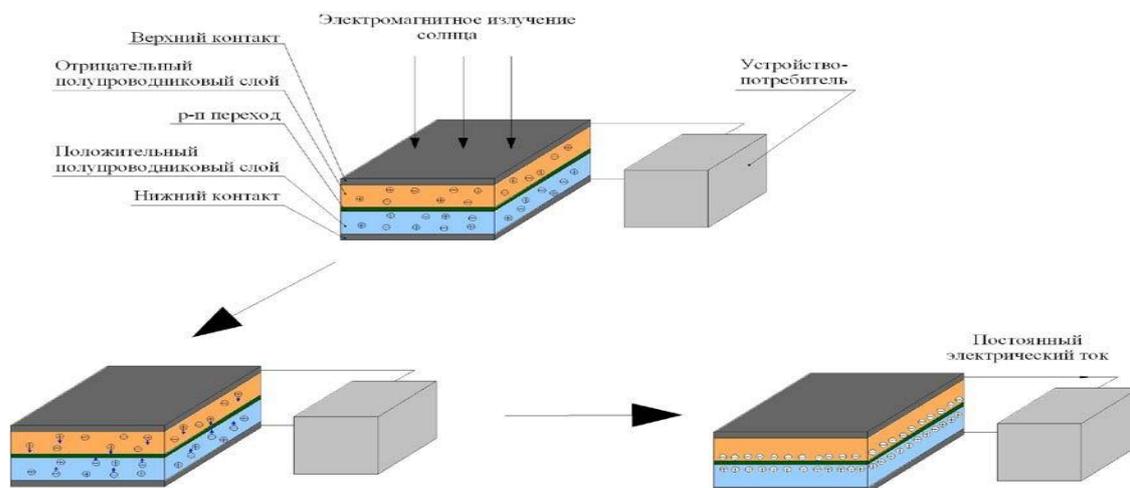


Рисунок 13 – Общий принцип действия солнечной батареи

Солнечная панель - это устройство, которое используется для преобразования солнечной энергии в электрическую энергию. Принцип работы солнечной панели основан на фотоэлектрическом эффекте, который был открыт еще в начале 19 века. Он заключается в том, что при попадании света на поверхность полупроводника происходит выход электронов из атомов, что создает разность потенциалов между слоями полупроводника.

Частицы электромагнитного излучения (фотоны) падают на поверхность солнечного фотоэлемента. Если у фотона энергия меньше энергии запрещенной зоны, то он слабо взаимодействует с проводником. В том случае, если энергия фотона выше энергии запрещенной зоны, то взаимодействует с электронами, имеющие ковалентную связь, используя собственную энергию, фотон разрывает связь и создает электронно-дырочную пару. Другими словами фотоны активизируют взаимное перемещение электрических зарядов в отрицательном n – слое и положительном p – слое. В пограничной зоне p – слоя в результате этого формируется некомпенсированный отрицательный заряд, а в пограничной зоне n -слоя некомпенсированный положительный заряд. Таким образом формируется p – n переход. Возникшая разность потенциалов в p – n переходе вызывает фотоэлектродвижущую силу, вследствие чего на устройство-потребитель, присоединенное к верхнему и нижнему контактам солнечного фотоэлемента, подается постоянный электрический ток

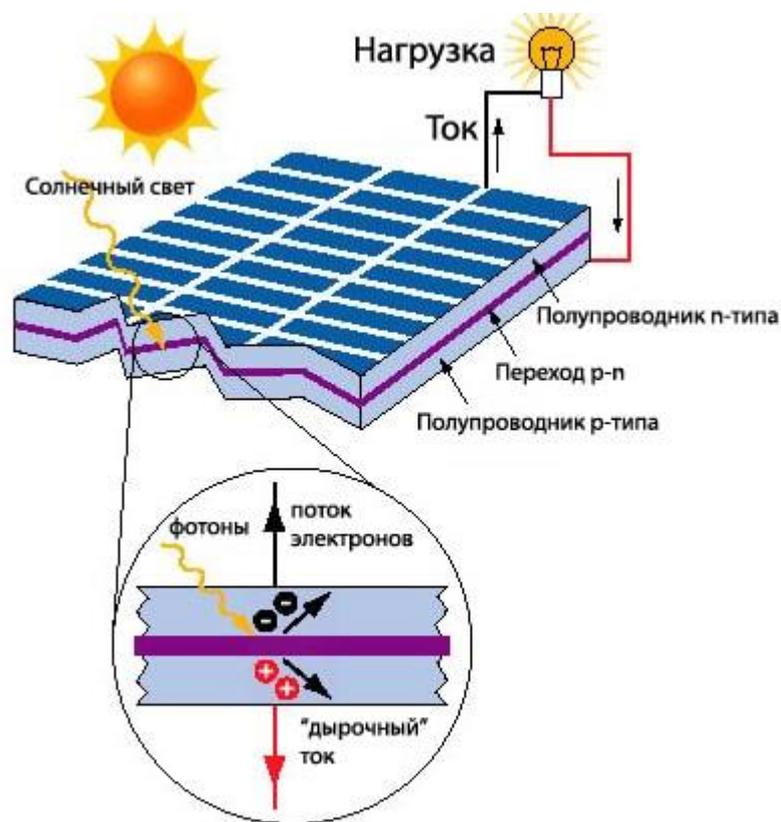


Рисунок 14 - Схема работы солнечной батареи.

Существует два типа солнечных панелей: монохроматические и мультихроматические. Монохроматические солнечные панели используются для преобразования энергии света определенной длины волны, а мультихроматические – для преобразования энергии света разных длин волн. Большинство солнечных панелей, используемых в настоящее время, являются мультихроматическими.

КПД оборудования зависит во многом от чистоты кремния и ориентации его кристаллов. Именно эти параметры пытаются улучшить инженеры последние десятилетия. Основной проблемой при этом является высокая стоимость процессов, которые лежат в основе очищения кремния и расположения кристаллов в одном направлении на всей панели.

Полупроводники фотоэлектрических преобразователей могут изготавливаться не только из кремния, но и из других материалов — принцип работы батареи при этом не изменяется.

КПД солнечного элемента

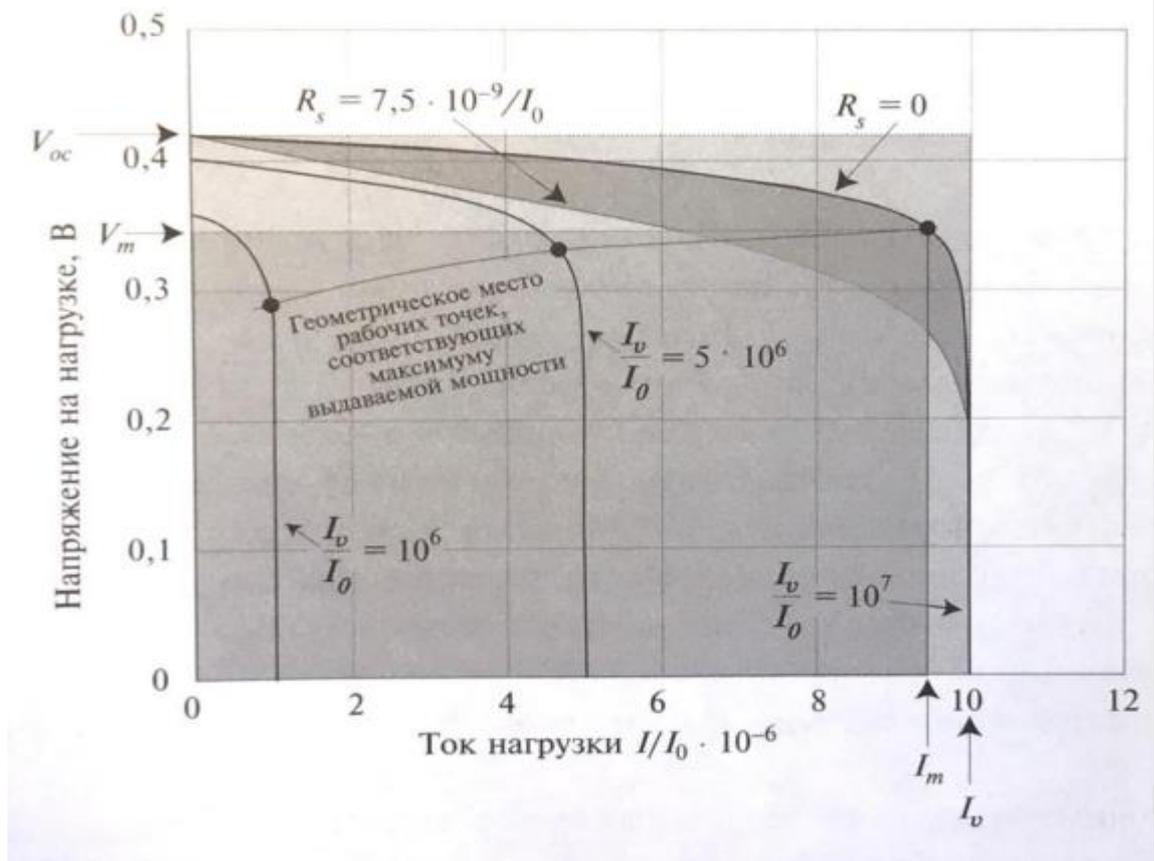


Рисунок 15 - График Вольт-Амперной характеристики типичного фотодиода[37].

Для обеспечения максимального КПД необходим подбор оптимальной нагрузки. Ток нагрузки при этом должен быть близок к I_m , понятно что эта величина зависит от освещённости, которая постоянно меняется[37].

При этом зависимость напряжения V_m от освещённости слабая и в первом приближении её можно не учитывать. На рисунке показаны положения оптимальных рабочих точек при разных уровнях освещённости, видно, что при изменении освещённости в основном меняется номинальный ток нагрузки[37].

Если сопротивление нагрузки постоянно (например, выбрано оптимальное сопротивление для плотности светового потока 1кВт/кв.м), то при его падении в n раз полезная мощность упадёт в n^2 (проверьте индексы/степени) раз. То есть при падении освещённости в 10 раз мы получим только 1% полной мощности. Тогда как если бы сопротивление нагрузки

менялось вместе с освещённостью, то возможно было бы получить 10% от полной мощности[37].

Учитывая, что освещённость меняется непрерывно и никогда не бывает постоянной, можно сделать вывод, что для обеспечения высокого КПД солнечной панели необходимо использовать устройства, которые обеспечивают автоматическое регулирование характеристик нагрузки в соответствии с уровнем светового потока.

На максимальную эффективность солнечной батареи влияют:

- Температура. Чем ниже температура окружающего воздуха и самой панели, тем она эффективнее.

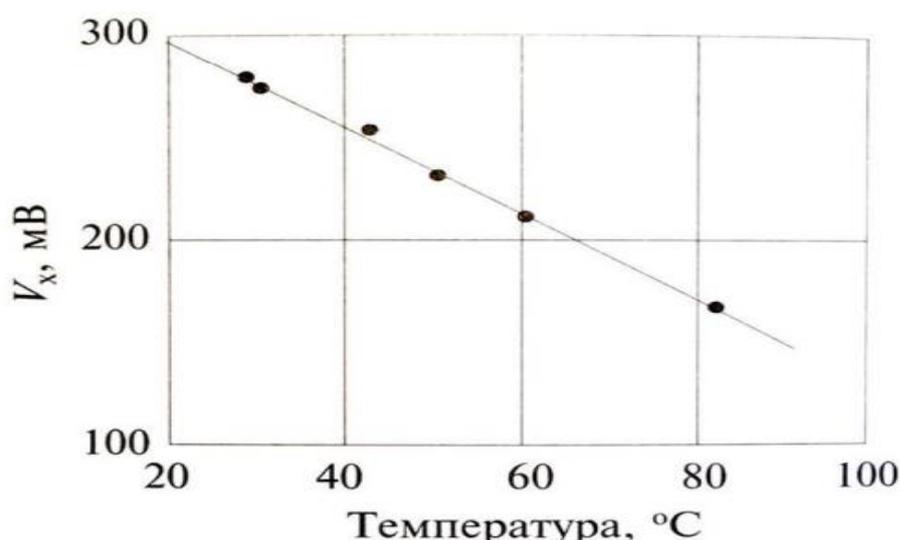


Рисунок 16 - График зависимости напряжения от температуры[37].

Для солнечных батарей характерна сильная зависимость напряжения холостого хода от температуры. Поэтому при повышении температуры эксплуатации падает реальное КПД солнечной батареи и быстрее наступает деградация

- Тень. Тени негативно влияют на КПД солнечной панели, поскольку они могут частично или полностью блокировать часть фотовольтаических элементов, что приводит к снижению общего выходного энергетического

потенциала. Кроме того, тени уменьшают световой поток, попадающий на поверхность панели, что также снижает ее эффективность.

Если солнечная панель работает в частичной тени, то панель может отображать несколько особенных эффектов. Первый из них заключается в том, что тени на части фотовольтаических элементов приводят к падению напряжения и, следовательно, к снижению выходной мощности. Вторым эффектом является "горячее пятно". В этом случае ячейки солнечной панели могут получать больше энергии, чем другие, и это может привести к перегреву и повреждению ячеек.

Кроме того, тени могут увеличивать риск возникновения точечной коррозии, так как части тени могут приводить к формированию ячеек, в которых накапливается вода и другие отложения, что повышает вероятность коррозии материалов.

- Угол наклона. Угол наклона солнечной панели влияет на КПД (коэффициент полезного действия) солнечной панели, так как панель лучше всего работает, когда ее поверхность находится под прямым углом к лучам солнца. Если угол наклона панели отличается от оптимального, то панель начинает работать менее эффективно и ее КПД уменьшается.



Рисунок 18 - Оптимальный угол наклона солнечных панелей в Санкт – Петербурге в зависимости от месяца[2]

При определении оптимального угла наклона необходимо учитывать широту и время года. В солнечный день, когда солнце находится ближе к

зениту, оптимальный угол наклона в северных широтах составляет примерно 30-40 градусов, а в тропиках – 10-15 градусов. В зимние месяцы угол наклона необходимо увеличивать для лучшего захвата лучей солнца. В летние месяцы угол наклона необходимо уменьшать для защиты от перегрева и повреждения панели.

- Пыль и грязь. Накопление пыли и грязи на поверхности солнечных панелей может привести к снижению КПД солнечной панели. Такие накопления могут блокировать солнечные лучи и понижать количество падающих на поверхность панели фотонов, которые затем преобразуются в электрическую энергию. В результате этого происходит снижение выходной мощности и эффективности работы солнечной панели.

- Отражение. Отражение может повысить КПД солнечной панели, так как отраженный свет увеличивает количество света, падающего на поверхность панели, что приводит к увеличению выходной мощности и эффективности работы панели.

Однако если отражающая поверхность находится слишком близко к солнечной панели, отраженные лучи могут попадать на поверхность панели под определенным углом, что может приводить к нежелательным отражениям или "горячим пятнам". Это может повредить фотоэлектрические ячейки, что снизит устойчивость и эффективность работы солнечной панели.

- Контроллер. Контроллер заряда для солнечной панели может повысить КПД путем оптимизации зарядки аккумулятора и защиты от переразряда и перегрузки. Контроллер заряда обеспечивает регулирование напряжения и тока зарядки, чтобы гарантировать, что солнечная панель преобразует максимально возможное количество света в электрическую энергию, не причиняя при этом ущерба аккумулятору.

Контроллер заряда также может повысить КПД с помощью функций, таких как максимальная точка мощности (Maximum Power Point Tracking или MPPT). Эта технология обеспечивает максимально возможное количество

энергии от каждой солнечной ячейки в панели за счет подстройки зарядки и напряжения солнечных ячеек под текущие условия освещения. MPPT-контроллер заряда позволяет достичь максимального КПД солнечной панели за счет оптимизации работы пары солнечная панель/ аккумулятор.

Однако, контроллер заряда может также отрицательно повлиять на КПД, если он выбран неправильно. Некоторые контроллеры заряда имеют более низкий КПД, чем другие, и могут потерять часть энергии в виде тепла, что может привести к снижению КПД солнечной панели.

Структура солнечной панели

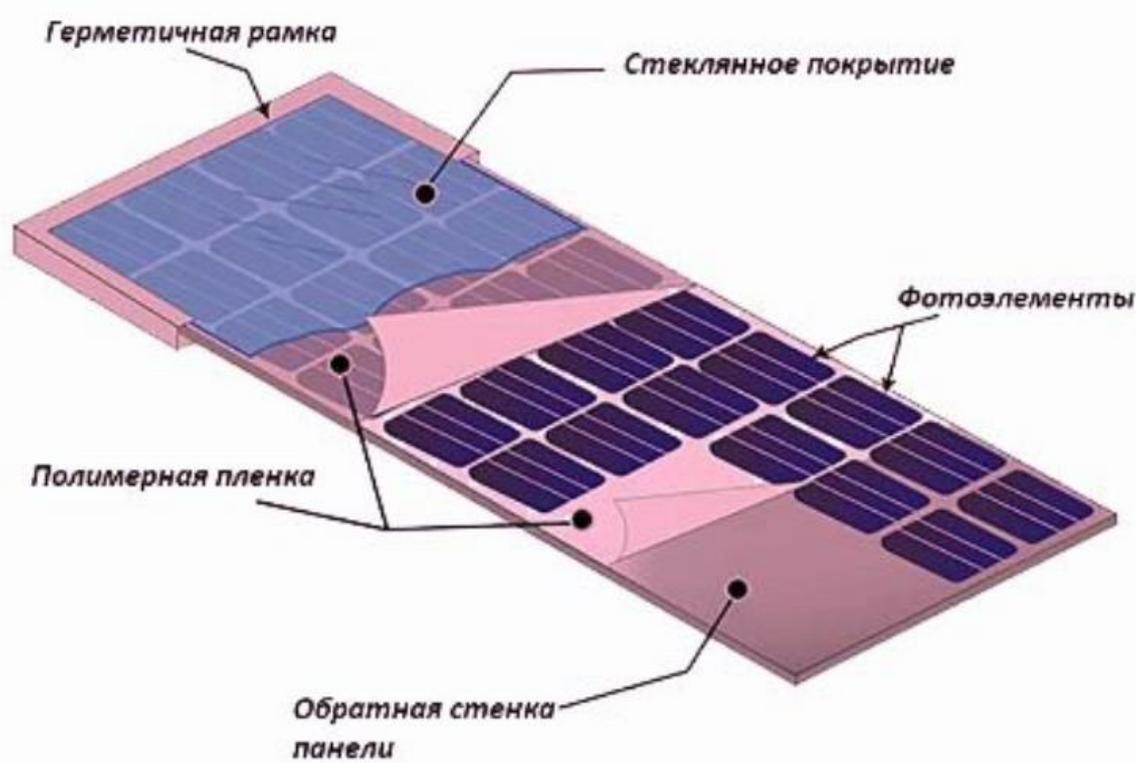


Рисунок 19 - Структура солнечной панели.

Солнечная панель состоит из множества солнечных элементов, которые объединены в солнечный модуль. Каждый солнечный элемент состоит из двух слоев полупроводника, которые имеют разную зарядность. Верхний слой обладает отрицательным зарядом, а нижний - положительным.

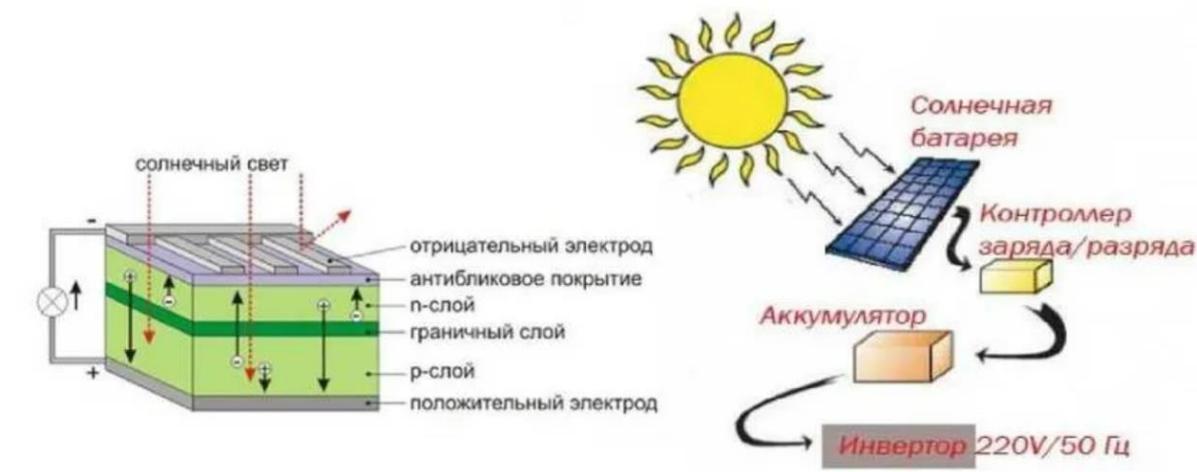


Рисунок 20 - Принцип работы.

Полупроводниковые материалы, используемые в солнечных панелях, обычно содержат примеси, такие как бор и фосфор, чтобы увеличить их проводимость. Эти примеси создают допингованные области в полупроводнике, которые могут служить для создания зарядового разделения.

Солнечные элементы обычно изготавливаются из кремния, который является наиболее распространенным полупроводниковым материалом. Кремниевые солнечные панели могут иметь различные структуры, но наиболее распространенной является структура p-n перехода.

Структура p-n перехода состоит из двух областей: p-области (положительно допингованная) и n-области (отрицательно допингованная). Существует несколько способов создания структуры p-n перехода в солнечной панели, включая диффузионный процесс, ионную имплантацию и эпитаксию.

Промышленная солнечная панель состоит из множества ламинированных фотоэлектрических ячеек, скрепленных между собой и закрепленных на гибкой или жесткой подложке.

Виды солнечных батарей в приложении 16

Сравнение преобразователей на основе эффективности, стоимости, экологичности и других параметров в приложении 4

Также рассмотрены более детально солнечные электростанции, их устройства и виды в приложении 1.

4.3 Методика расчета солнечной электростанции

Основными элементами солнечной электростанции являются:

Солнечные панели – они генерируют электроэнергию, и чем они мощнее и их больше, тем больше электроэнергии можно получить в течении дня.

Аккумуляторные батареи – в них происходит накопление электроэнергии, которую можно использовать в отсутствии солнца (ночью), когда выработки электричества на солнечных панелях нет.

Контроллер заряда аккумулятора – это устройство, которое позволяет обеспечить правильные режимы заряда аккумулятора. Выбор этого устройства, как правило, чисто технический момент за исключением выбора типа контроллера MPPT или ШИМ. Иногда контроллер заряда может быть встроен в инвертор.

Инвертор преобразователь напряжения – это устройство преобразует постоянный ток на аккумуляторах в переменный 220В, который используется во всех бытовых электроприборах. Мощность инвертора ограничивает максимальную мощность электропотребителей, которые могут быть подключены к системе.

Уберите лишние пробелы

Таблица 3 - Расчетное потребление домохозяйства.

Потребитель	Мощность (Ватт)	Время работы (часы)	W, Расход (Ватт/ч)
Телевизор	100	4	400
Компьютер	100	4	400
Холодильник	300	24	7200
Стиральная машина	500	1	500
Посудомоечная машина	920	1	920
Электрочайник	2000	0,3	600
Освещение	70	10	700
Бойлер на 100 л	700	3	2100
Итого в сутки			12820

При проектировании СЭС рассчитывается активная суммарная мощность нагрузки по формуле:

$$W = \sum P \cdot t, \quad (5)$$

W- Количество электроэнергии необходимое чтобы покрыть энергопотребления;

P - Мощность приборов ;

t - Время работы приборов ;

В нашем примере энергопотребление в сутки - 12,82 кВт, в месяц получается 384,6 кВт.

Полученное значение неокончательно: нужно заложить расходы электроэнергии на инвертор и контроллер, а также неизбежные потери разряда-заряда аккумулятора и преобразования постоянного тока в переменный, плюс — нужно учесть пусковую мощность электроприборов. В среднем к показателю потребления нужно прибавить ещё 40-50% — это в основном зависит от типа оборудования, которое вы будете использовать в системе солнечной электростанции. Таким образом, в нашем примере окончательное потребление будет около 576 900 Ватт/ч (576,9 кВт/ч) в течение месяца или 19,23 кВт/ч в месяц.

Выбор величины напряжения постоянного тока системы

Выбор базового напряжения солнечной энергетической системы (СЭС) зависит от нескольких факторов, таких как:

1. Мощность потребителей переменного тока - если мощность потребляемой энергии невелика, то для СЭС можно выбрать напряжение 12 В, а если мощность больше 1 кВт, то лучше выбрать напряжение 24 В или 48 В.

2. Длина проводов - чем больше длина проводов, тем больше потери напряжения, поэтому при увеличении расстояния между источником энергии и потребителем следует повышать напряжение СЭС.

3. Количество и тип использованных солнечных элементов - если в СЭС используются солнечные элементы с высоким напряжением, необходимо выбрать соответствующее напряжение системы.

4. Тип и емкость аккумуляторной батареи - для каждой емкости аккумуляторной батареи существует определенный диапазон напряжения, которому соответствует напряжение.

Если мощность потребления в СЭС превышает 3,5 кВт, то рекомендуется выбирать напряжение 48 В. Это связано с тем, что при такой мощности необходимо использовать большое количество солнечных элементов, которые обеспечивают высокое напряжение и мощность, а также более емкую аккумуляторную батарею для хранения энергии.

В целях уменьшения потерь электроэнергии выбираем напряжение АКБ 48 В.

Выбор инвертора

Инвертор (или преобразователь напряжения) - это устройство, которое изменяет постоянный ток (DC) на переменный ток (AC) в соответствии с заданными параметрами напряжения, частоты и формы сигнала. Это используется, чтобы изменять напряжение и частоту электрической энергии, поступающей из источника энергии, чтобы соответствовать требованиям различных устройств и электроприборов

Существует несколько типов инверторов, включая:

1. Строковые инверторы: наиболее распространенный тип инвертора, который используется в солнечных системах. Они преобразуют переменный ток поступающий от солнечных панелей в переменный ток, который может использоваться в домашней электросети.

2. Модифицированные синусоидальные инверторы: эти инверторы используются с меньшим количеством электроприборов и техники и имеют более низкую стоимость, чем чистые синусные инверторы. Они преобразуют постоянный ток в модифицированный синусоидальный ток, который несколько менее стабильный, чем преобразования с чистой синусоидой.

3. Чистые синусные инверторы: эти инверторы создают переменный ток, который походит на стандартный синусоидальный ток из электросети, что позволяет использовать их с широким диапазоном устройств и технологий.

4. Микроинверторы: это инверторы, которые устанавливаются на каждую солнечную панель. Они преобразуют постоянный ток, который генерируется от панели в переменный ток, который можно подключить к сети электропитания.

Каждый тип имеет свои особенности, преимущества и недостатки, и выбор инвертора зависит от конкретных требований и условий использования.

После определения типа инвертора нужна вычислить его номинальную мощность (сколько приборов будем подключать одновременно). В нашем примере это телевизор(100 Вт), компьютер(100 Вт), стиральная машина(700 Вт), освещение(70 Вт) и холодильник(300 Вт).

$$W = \sum x_i \quad (6)$$

W- номинальная мощность

x- мощность приборов включенных одновременно в сеть

$$W = 700 + 300 + 100 + 100 + 70 = 1270 \text{ Вт}$$

$$W_{\max} = 1270 * 2 = 2540 \text{ Вт}$$

Соответственно в данном случае инвертор должен иметь номинальную мощность более 1270 Вт. Кроме того важно понимать, что у некоторых приборов существуют пусковые токи, которые кратковременно появляются при запуске оборудования. Эти пусковые токи могут быть в 5-7 раз больше чем номинальные. Это важно учитывать при выборе инвертора. Благо у каждого инвертора есть запас прочности – пиковая нагрузка и зачастую эта характеристика в 2 раза больше номинальной мощности. Поэтому в данном примере инвертора номинальной мощностью 1270Вт хватит для обеспечения питанием указанных приборов, даже с учетом того, что у холодильника в момент пуска мощность может быть $300\text{Вт} * 7 = 2100\text{Вт}$.

Расчет количества? солнечных батарей

Для расчета СЭС выбираются поликристаллические СБ имеющие следующие параметры:

Мощность: 200 Вт

Напряжение : 24 В

Количество энергии вырабатываемой одной солнечной батареей

$$W_{\text{СБ}} = K \cdot P_{\text{СБ}} \cdot n, \quad (7)$$

K- коэффициент инсоляции (для Санкт- Петербурга средний 3,47 кВт*ч/м²);

n- количество рабочих часов (В пригороде Санкт-Петербурга в среднем 7 часов)

P-Мощность солнечной батареи

$$W = 3,47 \cdot 200 \cdot 7 = 4858 \text{ Вт}$$

Зная выработку одной панели можем найти необходимое количество панелей

$$N_{\text{СБ}} = \frac{W}{W_{\text{СБ}}}, \quad (8)$$

$N_{\text{СБ}}$ - количество панелей

W- потребление в сутки

W_{сб}- выработка солнечной панели

$$N = 19230/4858 = 4,2 \text{ (округляем до 5)}$$

Далее находим более точную мощность вырабатываемой массивом панелей:

$$W = W_{\text{СБ}} \cdot N_{\text{СБ}}, \quad (9)$$

$$W = 5 \cdot 4858 = 22\,925 \text{ Вт}$$

Выработка массива из 5 панелей мощностью 200 Вт составит 22 925 Вт
(22,9 кВт)

Расчет емкости и выбор аккумуляторных батарей

Необходимая мощность АКБ определяется формулой:

$$C = \frac{W}{U} + C_1, \quad (10)$$

где

C_1 - значение, учитывающее потери на заряд - разряд аккумуляторов
находится по формуле [4]

U - постоянное напряжение АКБ;

$$C_1 = \frac{W}{U} \cdot K_1, \quad (11)$$

$K=0,3$ - это коэффициент потерь на заряд- разряд аккумулятора

$$C_1 = 22\,925 / 48 \cdot 0,3 = 143,28 \text{ А*ч}$$

Тогда,

$$C = 22\,925 / 48 + 143,28 = 620,9 \text{ А*ч}$$

Округляем емкость батарей в большую сторону получаем 700 А*ч

U - постоянное напряжение АКБ;

Расчет контроллера заряда

Если мы включим 5 солнечных панели параллельно, то напряжение останется равным 24 В но при этом ток будет суммироваться. В нашем случае $5 \text{ А} \cdot 5 = 25$ а значит контроллера заряда 25А будет достаточно.

АКБ заряжается током 10% от номинальной емкости. Ток

Заряда АКБ находится по формуле:

$$I_z = 0,1 \cdot C, \quad (12)$$

C= емкость

$$I = 0,1 \cdot 700 = 70 \text{ А}$$

Таким образом в данной методике рассматривался поэтапный расчет СЭС:

- Расчет количества энергии потребляемое в сутки
- Выбор оптимального напряжения
- Расчет характеристик инвертора переменного напряжения
- Расчет необходимого количества и мощности массива СБ
- Расчет ёмкости аккумуляторов
- Расчет мощности контролера СБ

Глава 5. Современные технические решения повышения КПД у солнечных батарей

5.1. Использование оптических усилителей.

Эффективность солнечных батарей, используемых для получения энергии из солнечного света, ограничена. В этой связи, появляется необходимость использования новых технологий, которые могут увеличить

КПД солнечных батарей. Одной из таких технологий является использование оптических усилителей.

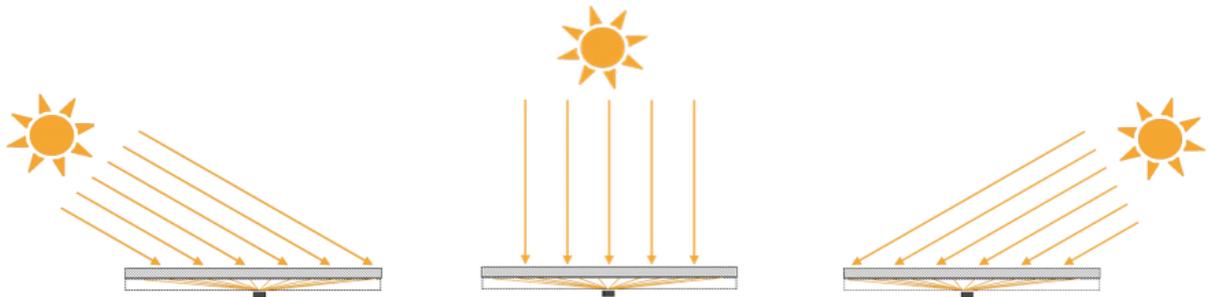


Рисунок 27 - Схема падения солнца и работа оптических усилителей

Суть технологии заключается в использовании оптических усилителей для увеличения светового потока, попадающего на солнечную батарею. Оптические усилители – это устройства, которые усиливают оптический сигнал, пропуская его через активную среду, которая поглощает и увеличивает его. В случае с солнечными батареями, оптические усилители увеличивают количество света, падающего на поверхность батареи, что приводит к увеличению количества поглощенной энергии.

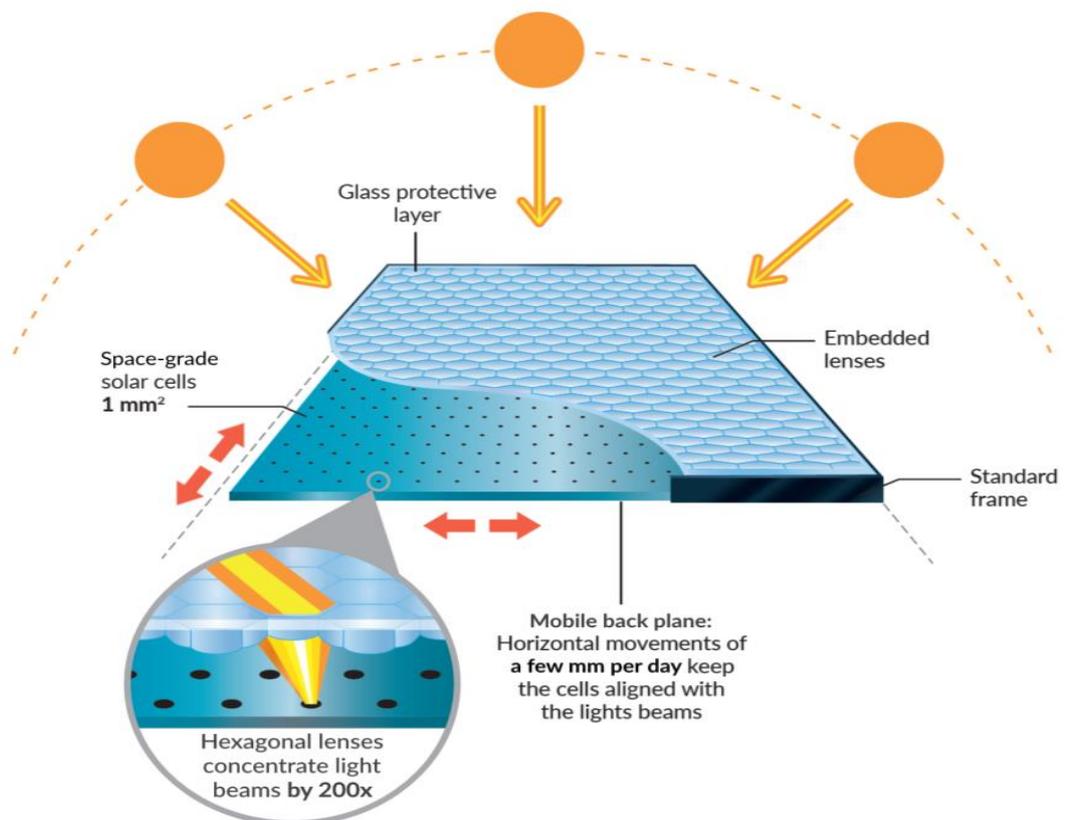


Рисунок 28 - Детальная работа оптических усилителей

При использовании оптических усилителей свет, попадающий на поверхность батареи, проходит через усилитель, который увеличивает световой поток. Затем увеличенный световой поток падает на поверхность батареи, что приводит к увеличению количества поглощенной энергии.

Технология оптических усилителей для увеличения КПД солнечной батареи может позволить увеличить ее КПД на 10-20%. Это достигается за счет увеличения количества света, попадающего на поверхность батареи, и увеличения количества поглощенной энергии.

Эффективность оптических усилителей может зависеть от многих факторов, таких как тип усилителя, его оптические свойства, погодные условия и другие факторы. Поэтому эффективность использования оптических усилителей для повышения КПД солнечной батареи может быть индивидуальна для каждой конкретной установки



Рисунок 29 - Солнечная панель с технологией оптических усилителей

Для повышения КПД солнечной батареи, используемой в солнечных электростанциях, оптические усилители могут использоваться в сочетании с другими технологиями, например, с трекинговыми системами, которые

обеспечивают максимальное падение света на поверхность батареи в течение всего дня. Кроме того, использование оптических усилителей позволяет увеличить КПД солнечных батарей, которые используются в небольших устройствах, например, в солнечных зарядных устройствах для мобильных устройств.

Преимущества:

- возможность увеличения площади батареи, которая может быть покрыта светом. Это особенно актуально для солнечных электростанций, где требуется большая площадь солнечных батарей для получения достаточного количества энергии.

- использование оптических усилителей позволяет повысить эффективность солнечных батарей в условиях недостаточной освещенности, например, в пасмурную погоду или при поглощении света через стекло. Это повышает надежность и устойчивость солнечных энергетических установок.

- позволяет повысить эффективность солнечных энергетических установок и снизить затраты на их эксплуатацию.

- использование оптических усилителей может быть эффективным решением для повышения КПД солнечных батарей на космических аппаратах, так как в космическом пространстве солнечное излучение более интенсивно, чем на Земле. Повышение эффективности солнечных батарей на космических аппаратах позволит увеличить время их автономной работы, что является важным условием для проведения научных исследований и космических миссий.

- использование оптических усилителей может быть эффективным решением для устранения проблемы теней, которая может возникать при установке солнечных батарей в городских условиях. Тени от зданий, деревьев и других объектов могут существенно снижать КПД солнечных батарей, однако оптические усилители могут компенсировать этот эффект, увеличивая количество света, попадающего на поверхность батареи.

Недостатки:

- использование оптических усилителей может привести к увеличению тепловыделения на поверхности солнечной батареи, что может привести к ее перегреву и снижению КПД
- оптические усилители требуют определенных затрат на производство и установку, что может повысить стоимость солнечных энергетических установок.

Дальнейшее развитие технологий и материалов для оптических усилителей может также привести к созданию более компактных и легких солнечных батарей, что позволит использовать их в различных сферах, включая автомобильную и авиационную промышленности.

Использование оптических усилителей для повышения КПД солнечной батареи является перспективной технологией, которая позволяет увеличить эффективность солнечных энергетических установок. Однако, перед принятием решения о ее использовании необходимо учитывать как ее преимущества, так и недостатки, а также провести анализ экономической целесообразности прим

5.2. Перовскитовый материал

Перовскитный материал - это новый класс материалов, используемых для создания солнечных батарей. Эти материалы обладают потенциалом для достижения высоких КПД при сравнительно низких себестоимостях, что делает их конкурентоспособными по сравнению с традиционными солнечными батареями

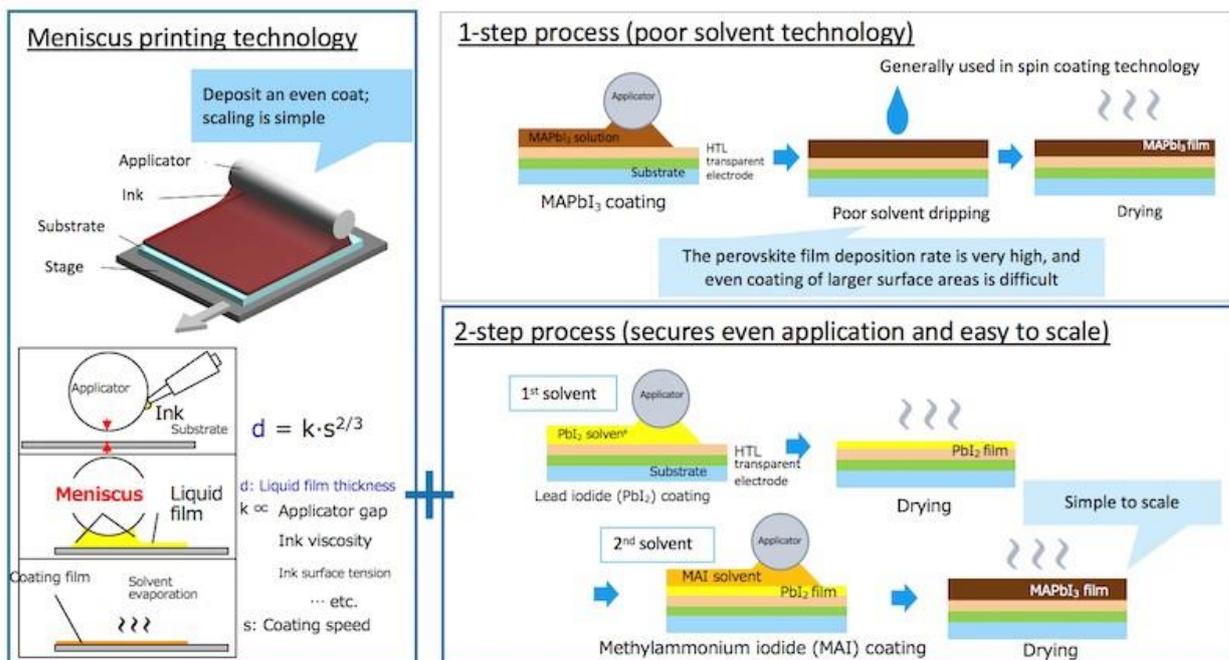


Рис 30 - Технология производства солнечного модуля на основе перовскита. По сути, мы создаем «чернила» из составных элементов перовскита и «размазываем» их по подложке.

Технология производства солнечных модулей на основе перовскита все еще находится на начальной стадии развития, но уже есть несколько методов и производственных технологий, которые используются в промышленности.

Один из таких методов - это метод печати, при котором перовскитная краска напечатана на прозрачную металлическую подложку, после чего на модуль наносится углеродный слой, который используется для коллекции заряда. С помощью этого метода может быть достигнут КПД до 20%.

Другой метод - это вакуумный осаждение, который предназначен для формирования пленки перовскита на стекле или других поверхностях. После этого на модуль наносится металлический слой, который используется для коллекции заряда. Этот метод может достигать КПД на уровне 22%.

В обоих случаях полученная солнечная батарея состоит из крошечных перовскитных клеток, которые могут быть соединены в крупные панели, чтобы собрать достаточное количество энергии.

Процесс преобразования энергии солнца в электрическую энергию в перовскитном материале солнечной батареи осуществляется за счет свойств перовскита, которые позволяют ему поглощать свет и генерировать электрический заряд.

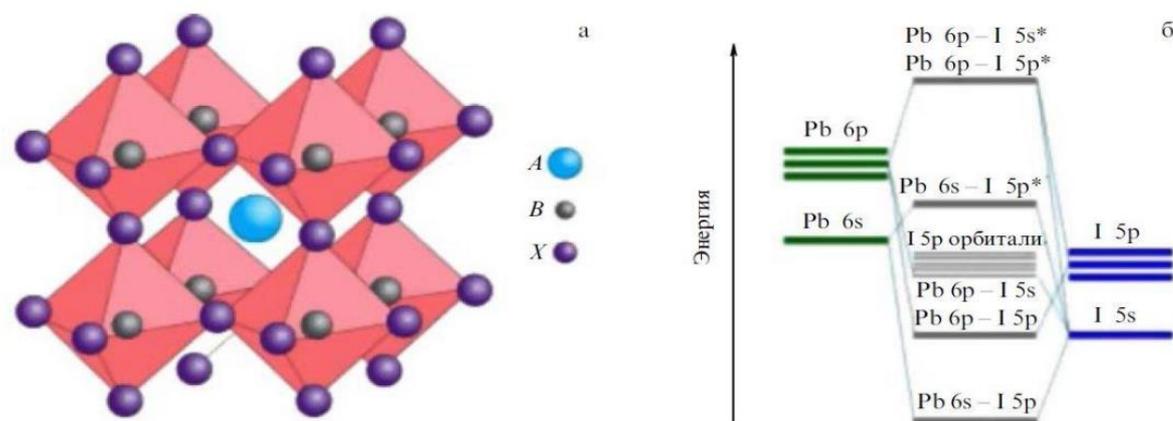


Рисунок 31 - а) Кристаллическая структура синтетических перовскитов с металлоорганическими катионами (А, В) и анионами (Х). Б) Энергетическая структура электронных состояний в металлоорганическом перовските на примере $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, сформированная энергетическими уровнями катиона-анионного кластера $[\text{PbI}_6]$ [14].

Перовскитные материалы имеют общую формулу ABX_3 , где А представляет катион, В представляет катион или смеси катионов и Х представляет анион. В типичном перовските, катионы А и В являются металлами, а анион Х представлен кислородом или другими элементами, такими как Хлор, Фтор или Иод.

Катионы и анионы в перовскитных материалах играют важную роль в их фото-электрической работе и электропроводности. Катионы представляют позитивно заряженные ионы, несущие электрический заряд, и анионы представляют отрицательно заряженные ионы.

Одна из важных функций катионов в перовскитном материале - обеспечить электропроводность. Некоторые катионы могут заменять другие катионы, что позволяет улучшить электрические свойства материала. Например, замена иона Pb на ион Sn в PbSnO_3 может улучшить его

электропроводность, что делает его хорошим кандидатом для применения в перовскитных солнечных батареях.

Анионы также играют роль в электропроводности перовскитных материалов. Анионы в материале связаны с катионами и образуют трехмерную кристаллическую решетку. Форма и размер кристаллической решетки, а также тип и положение анионов, могут существенно влиять на фотоэлектрическую работу материала и другие его электрические свойства, и это учитывается при разработке новых перовскитных материалов для солнечных батарей.

Наличие определенной структуры перовскитного материала играет важную роль в получении энергии в солнечных батареях. В перовските атомы расположены в так называемом кубическом перовскитном кристаллическом решетке, которая обладает определенным энергетическим уровнем. Формула кристалла обеспечивает способность материала быстро разделять и транспортировать заряды, а также обеспечивает контроль за их потерями. Это возможно благодаря высокой подвижности электронов и дырок в перовскитном материале.

При разработке перовскитных солнечных батарей, специалисты уделяют большое внимание оптимизации структуры материала. Оптимизация структуры может включать в себя изменение формулы кристалла, введение примесей или изменение его других параметров, которые могут повысить коэффициент захвата света или улучшить характеристики переноса зарядов.

Энергетическая структура перовскитных материалов играет важную роль в получении энергии в солнечной батарее. Благодаря своей кристаллической структуре, перовскитный материал обладает высокой эффективностью преобразования света в электрическую энергию, что делает его привлекательным для использования в солнечных батареях.

Внутри перовскитного материала находятся полупроводниковые слои, которые обладают разной зарядностью. При воздействии света на

перовскитный материал, электроны внутри материала начинают двигаться, освобождая большое количество энергии. Эти электроны быстро проходят через перовскитный материал в полупроводниковый слой, где они создают дополнительные электроны, создавая ток.

Далее электроны проходят через коллектор, где они собираются вместе и создают электрический ток, который может быть использован для питания электрических устройств. Теперь солнечной батарее нужно только использовать этот электрический ток для своей работы, например для зарядки батарей или привода двигателей.

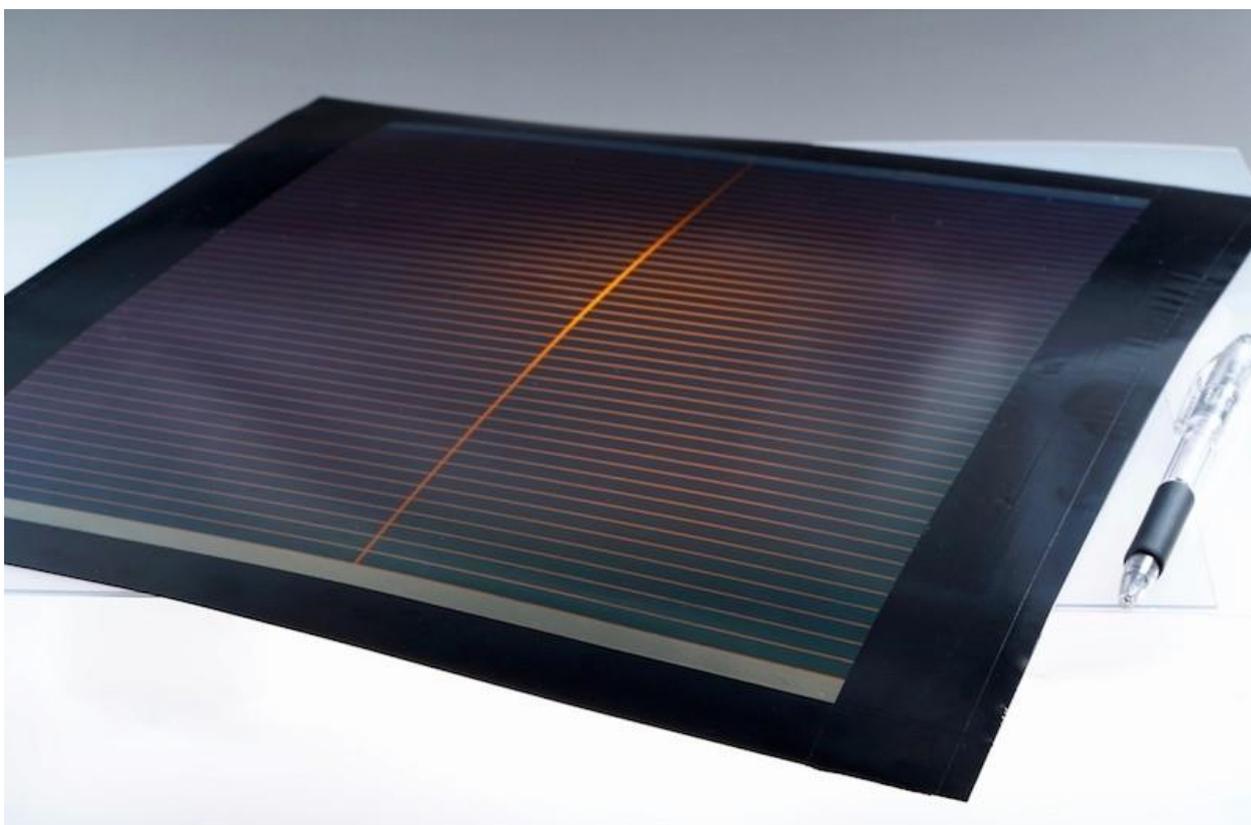


Рисунок 32 - Созданный модуль на основе перовскита имеющий площадь 703 кв. см.

Процесс преобразования энергии солнца в электрическую энергию в перовскитном материале осуществляется благодаря свойствам материала, который способен поглощать и преобразовывать солнечный свет в электрический ток.

Преимущества:

- перовскитные материалы имеют высокую светопоглощающую способность, быструю зарядку, быстрый транспорт заряда, способность работать в широких диапазонах температур и освещенности.

- У перовскитных солнечных батарей высокий КПД. В некоторых исследованиях были достигнуты КПД свыше 25%, что значительно выше, чем у традиционных кремниевых солнечных батарей. Это делает перовскитные солнечные батареи более эффективными и экономически выгодными для использования.

- перовскитные материалы дешевле и проще в производстве, чем традиционные кремниевые материалы. Они могут быть произведены при более низких температурах и с использованием более дешевых материалов, что снижает стоимость производства солнечных батарей. Это также позволяет создавать более тонкие и гибкие солнечные батареи, которые могут быть использованы в различных приложениях.

- перовскитные материалы могут быть использованы для создания многослойных солнечных батарей. Это позволяет улучшить эффективность солнечной батареи, поскольку каждый слой может преобразовывать различные части спектра солнечного света в электрическую энергию. Многослойные перовскитные солнечные батареи могут иметь еще более высокий КПД, чем однослойные батареи.

- Перовскитные материалы также могут быть использованы для создания прозрачных солнечных батарей. Это позволяет использовать солнечную энергию в зданиях и транспортных средствах, не затрагивая внешний вид или прозрачность окон или стекол. Прозрачные перовскитные солнечные батареи могут быть использованы для создания энергетически эффективных зданий, которые могут генерировать свою электроэнергию.

- Перовскитные материалы также могут быть использованы для создания катализаторов, которые могут быть использованы в процессах, связанных с производством водорода, энергетической конверсией и других

промышленных процессах. Катализаторы на основе перовскитных материалов могут быть более эффективными и экономически выгодными, чем традиционные катализаторы, и могут использоваться для улучшения производительности и снижения затрат в различных отраслях.

Недостатки:

- Они имеют проблемы с устойчивостью и долговечностью.
- Перовскитные материалы могут быть чувствительны к влажности, температуре и свету, что может привести к ухудшению их производительности. Это может снизить долговечность и надежность перовскитных солнечных батарей.

По прогнозам экспертов Национальной лаборатории возобновляемой энергии США (National Renewable Energy Laboratory, NREL), производство перовскитовых панелей будет в десять раз дешевле, чем у кремниевых аналогов. Не в последнюю очередь потому, для изготовления господствующих ныне кремниевых солнечных элементов требуется обработка материала при температуре более 1 400 градусов и, соответственно, сложное оборудование. С перовскитами, между тем, можно управиться в жидком растворе при температуре 100 градусов на несложном оборудовании .

Перовскитные материалы имеют большой потенциал для использования в солнечных батареях и других приложениях. Однако, как и с DHSE, перовскитные материалы требуют дальнейших исследований и разработок, чтобы решить проблемы устойчивости, долговечности и экологической устойчивости.

В итоге, перовскитные материалы имеют большой потенциал для использования в различных приложениях, включая солнечные батареи, светодиоды, фотодетекторы и катализаторы. Они могут быть более эффективными и экономически выгодными, чем традиционные материалы, и могут использоваться для улучшения производительности и снижения затрат в различных отраслях. Однако, для того чтобы реализовать их потенциал,

требуются дальнейшие исследования и разработки, чтобы решить проблемы устойчивости, долговечности и экологической устойчивости.

Использование технологии обратного перевода (back contact) в приложении 13

Использование технологии двойного гетероструктурного солнечного элемента (double heterostructure solar cell) в приложении 14

Использование технологии кремниевых нанопроводов в приложении 15

Глава 6. Экономическая эффективность использования солнечной энергии

6.1. Главные факторы ценообразования

Ценообразование на солнечную энергию зависит от многих факторов, но основными из них являются:

1. Стоимость оборудования. Она включает в себя стоимость солнечных панелей, инверторов, кабелей, крепежей и других компонентов. Чем выше стоимость оборудования, тем выше будет стоимость энергии, производимой солнечной электростанцией.

2. Инфраструктурные затраты. К ним относятся затраты на проектирование, установку, подключение к электросети, а также на обслуживание и ремонт. Они могут значительно влиять на стоимость солнечной энергии.

3. Уровень солнечной радиации. Чем выше уровень солнечной радиации в регионе, тем выше будет производительность солнечной электростанции и тем ниже будет стоимость производства электроэнергии.

4. Эффективность оборудования. Чем более эффективное оборудование используется, тем выше будет производительность солнечной электростанции и тем ниже будет стоимость производства электроэнергии.

5. Стоимость финансирования. Стоимость финансирования может существенно влиять на стоимость солнечной энергии. Если ставки по кредитам высоки, то это может привести к увеличению стоимости проекта.

6. Правительственная поддержка. Некоторые правительства предоставляют субсидии и налоговые льготы для развития солнечной энергетики. Это может значительно снизить стоимость производства электроэнергии и сделать солнечную энергию более доступной для потребителей.

7. Конкуренция. Чем больше конкуренция на рынке солнечной энергии, тем ниже будет стоимость производства электроэнергии.

В целом, ценообразование на солнечную энергию зависит от многих факторов, и каждый проект может иметь свои особенности. Однако, важно учитывать все эти факторы при планировании и строительстве солнечных электростанций, чтобы сделать их более эффективными и экономически выгодными.

Детальная выборка из чего складывается стоимость «солнечного киловатта» в разных странах в Приложении 5.

6.2. Расчет эффективности и окупаемости использования солнечной энергии

Расчет эффективности использования солнечной энергии может производиться по формуле:

$$\text{Эффективность} = \text{выходная энергия} / \text{входная энергия} * 100\%$$

Для солнечной энергии входной энергией является инсоляция – количество солнечной энергии, падающей на единицу площади земной поверхности за единицу времени. Выходная энергия зависит от технологий, используемых для получения энергии: солнечные батареи, тепловые коллекторы или концентраторы.

Вот пример расчета эффективности использования солнечной энергии для солнечных батарей:

Предположим, что солнечная батарея имеет площадь 1 кв. м и среднесуточный входной солнечный поток в это месте составляет 5 кВт·ч/м². Тогда входная энергия за сутки составит:

$$5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \times 1 \text{ м}^2 = 5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Предположим, что эта батарея ежедневно вырабатывает 1,2 кВт·ч электроэнергии. Тогда ее эффективность будет:

$$1,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / 5 \text{ кВт}\cdot\text{ч} * 100\% = 24\%$$

Таким образом, эта солнечная батарея эффективно использует 24% солнечной энергии, которая падает на нее каждый день.

Эффективность использования солнечной энергии может также зависеть от различных факторов, таких как:

- Географическое местоположение – в разных частях света инсоляция может варьироваться в зависимости от климатических условий и положения солнца на небе.

- Погодные условия – облачность, дождь, снег и другие погодные явления могут существенно снижать количество солнечной энергии, достигающей земной поверхности и, соответственно, снижать эффективность использования солнечной энергии.

- Технические характеристики оборудования – качество и эффективность солнечных батарей, тепловых коллекторов и других устройств для использования солнечной энергии могут существенно различаться в зависимости от производителя и модели.

Расчет окупаемости солнечной электростанции может быть выполнен с помощью следующей формулы:

$$T = I / (P * E * (1 - L) * 365) \quad (3)$$

где:

T - время окупаемости (в годах)

I - инвестиционные затраты на строительство солнечной электростанции

P - мощность солнечной электростанции (в кВт)

E - среднегодовая энергетическая продуктивность солнечной электростанции (в кВт-ч/кВт)

L - коэффициент потерь энергии (от 0 до 1), учитывающий потери энергии во время транспортировки и преобразования электроэнергии.

Для более точного расчета следует также учитывать налоги, субсидии и изменение стоимости электроэнергии в течение времени окупаемости.

Для учета налогов и субсидий следует включить их в инвестиционные затраты или вычесть из них, соответственно. Изменение стоимости электроэнергии может быть учтено путем использования прогнозных данных или средних значений за предыдущие годы.

Для уточнения расчетов, следует учитывать следующие факторы:

- Размер и тип солнечных панелей, используемых в электростанции
- Расположение и климатические условия места установки электростанции
- Размер и емкость батарей, используемых для хранения энергии
- Стоимость обслуживания и ремонта электростанции
- Стоимость земли и ее аренды (если требуется)

Расчет окупаемости солнечной электростанции для Санкт-Петербурга, Мурманска, Краснодара и сравнения рентабельности в приложении 4.

Расчет окупаемости солнечной электростанции может быть сложным процессом, который требует учета многих факторов. Однако, при правильном

расчете и учете всех факторов, солнечные электростанции могут быть выгодным и экологически чистым источником энергии.

6.4. Экономические аспекты использования солнечных преобразователей

Использование солнечных преобразователей имеет множество экономических преимуществ:

1. Снижение затрат на электроэнергию. При использовании солнечных преобразователей снижается зависимость от традиционных источников энергии, таких как газ, уголь и нефть. Это позволяет снизить затраты на электроэнергию и уменьшить риски колебаний цен на энергоресурсы.

2. Уменьшение экологических затрат. Использование солнечных преобразователей является экологически чистым и безопасным способом производства электроэнергии. Это позволяет уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, связанное с добычей и использованием традиционных источников энергии.

3. Стимулирование экономического роста. Использование солнечных преобразователей может стимулировать экономический рост, создавая новые рабочие места в сфере производства, установки и обслуживания солнечных систем.

4. Доступность в отдаленных районах. Солнечные преобразователи могут быть использованы в отдаленных районах, где нет доступа к традиционным источникам энергии. Это позволяет обеспечить доступность электроэнергии для населения в этих районах.

5. Снижение зависимости от импорта энергоресурсов. Использование солнечных преобразователей позволяет снизить зависимость от импорта энергоресурсов и укрепить экономическую независимость страны.

6. Возможность продажи избытков электроэнергии. Если солнечная система производит больше энергии, чем необходимо для покрытия

потребностей, избыток может быть продан на рынке электроэнергии, что позволяет получить дополнительный доход.

7. Снижение расходов на энергетическую инфраструктуру. Солнечные системы не требуют больших затрат на строительство и обслуживание энергетической инфраструктуры, такой как линии электропередач и подстанции.

В целом, использование солнечных преобразователей имеет множество экономических преимуществ, которые могут привести к снижению затрат на электроэнергию, улучшению экологической ситуации и стимулированию экономического роста.

Глава 7. Проблематика использования солнечной энергии

7.1. Фундаментальные проблемы использования солнечной энергии

Солнечная энергия - это один из самых перспективных источников энергии, однако существуют фундаментальные проблемы, которые могут ограничивать ее использование.

1. Недостаточная эффективность. Солнечные панели не могут преобразовать все солнечное излучение в электроэнергию. Наиболее эффективные солнечные панели могут преобразовывать до 22% солнечной энергии в электрический ток, что означает, что большая часть солнечной энергии не используется.

2. Необходимость больших затрат на производство и установку. Солнечные панели требуют больших затрат на производство и установку, что может затруднять их распространение и использование.

3. Зависимость от погодных условий. Солнечные панели могут производить электрический ток только в течение дня и только при наличии достаточного количества солнечного излучения. В течение ночи и в пасмурную погоду производство электрического тока снижается.

4. Ограниченность места установки. Солнечные панели требуют большой площади для установки, что может быть ограничено в городских условиях или на территориях с плотной застройкой.

5. Проблемы хранения энергии. Солнечная энергия не может быть хранена в таком же объеме, как топливо, что означает, что ее использование ограничено не только количеством производимой энергии, но и временем, в течение которого энергия может быть использована.

7. Влияние климата на производство энергии. Климатические условия могут оказывать влияние на производство энергии с помощью солнечных панелей. Например, экстремально жаркая погода может привести к снижению производительности солнечных панелей из-за повышенной температуры окружающей среды.

Несмотря на эти проблемы, солнечная энергия все еще остается одним из самых перспективных источников энергии, и многие страны и компании продолжают инвестировать в ее развитие и использование. Разработка новых технологий и совершенствование существующих могут помочь решить некоторые из этих проблем и сделать солнечную энергию более доступной и эффективной в будущем.

7.2. Технические проблемы использования солнечной энергии

Технические проблемы использования солнечной энергии связаны с необходимостью разработки и совершенствования технологий для производства, хранения и использования солнечной энергии.

- Низкая плотность энергии. Солнечная энергия имеет низкую плотность энергии, что означает, что для производства большого количества энергии требуется большая площадь солнечных панелей.

- Проблемы хранения энергии. Солнечная энергия не может быть хранена так же, как топливо, что означает, что ее использование ограничено не только количеством производимой энергии, но и временем, в течение которого энергия может быть использована.

- Высокие затраты на производство. Производство солнечных панелей требует использования дорогостоящих материалов и процессов, что может увеличивать затраты на производство.
- Ограниченность места установки. Солнечные панели требуют большой площади для установки, что может быть ограничено в городских условиях или на территориях с плотной застройкой.
- Необходимость интеграции с другими источниками энергии. Солнечная энергия может быть эффективно использована только в сочетании с другими источниками энергии, такими как ветроэнергия или гидроэнергия.
- Зависимость от погодных условий. Солнечные панели могут производить электрический ток только в течение дня и только при наличии достаточного количества солнечного излучения. В течение ночи и в пасмурную погоду производство электрического тока снижается.
- Необходимость регулирования напряжения. Солнечная энергия может иметь переменное напряжение, что требует регулирования для обеспечения совместимости с другими источниками энергии.
- Недостаточная надежность. Солнечные панели могут подвергаться различным повреждениям, таким как град, ураганы и другие природные бедствия, что может привести к снижению производительности и даже полной потере энергии.
- Влияние тени. Если на солнечные панели падает тень, то это может снизить их производительность. При этом даже небольшая тень может привести к значительному снижению эффективности солнечных панелей.
- Ограниченность использования в ночное время. Солнечные панели не могут производить энергию в ночное время, что ограничивает их использование в условиях, когда требуется круглосуточное обеспечение электроэнергией.

- Требования к техническому обслуживанию. Солнечные панели требуют регулярного технического обслуживания для поддержания их производительности. В противном случае, их производительность может снизиться или они могут выйти из строя.

- Необходимость использования инверторов. Для преобразования переменного тока, производимого солнечными панелями, в постоянный ток, необходимы инверторы. Они увеличивают затраты на установку и эксплуатацию солнечных панелей.

7.3. Экологические проблемы использования солнечной энергии

Солнечная энергия считается одним из наиболее экологически чистых источников энергии. Однако, как и любой другой источник энергии, ее использование может привести к некоторым экологическим проблемам:

- Проблема утилизации солнечных панелей. Солнечные панели содержат редкие металлы и другие материалы, которые могут быть токсичными для окружающей среды при утилизации. Необходимы новые технологии для переработки и утилизации солнечных панелей.

- Влияние на экосистему. Строительство солнечных электростанций может иметь влияние на экосистему, особенно если они строятся в чувствительных экологических зонах. Например, строительство солнечных электростанций может привести к потере жизненного пространства для диких животных или нарушению экосистемы.

- Использование ресурсов для производства солнечных панелей. Производство солнечных панелей требует использования ресурсов, таких как энергия, вода, металлы и другие материалы. Это может привести к истощению ресурсов и негативному воздействию на окружающую среду.

- Влияние на земельные ресурсы. Установка солнечных панелей может занимать значительную площадь земли, что может привести к конкуренции за земельные ресурсы с другими целями, такими как сельское хозяйство или защита природы.

Сравнение преимуществ использования солнечной энергии и традиционных источников энергии по экологическим аспектам в приложении 11

Оценка воздействия на окружающую среду при производстве и эксплуатации солнечных преобразователей в приложении 12

Глава 8. Перспективы использования солнечной энергии в России

8.1. Проблемы и перспективы использования солнечной энергии в России

Солнечные электростанции (СЭС) в России начали развиваться относительно недавно, но уже сейчас можно наблюдать рост их числа и мощности. Рассмотрим анализ данных развития СЭС в России.

1. Общая мощность солнечных электростанций в России

По данным Российской ассоциации солнечной энергетики (РАСЭ), на конец 2023 года общая мощность солнечных электростанций в России составляла около 1 992 МВт. Это всего лишь 0,73% от общей установленной мощности электростанций в стране.

2. Динамика установки солнечных электростанций в России

Динамика установки СЭС в России показывает положительный тренд. Согласно данным РАСЭ, в 2020 году было установлено более 300 МВт солнечных электростанций, что в 2,5 раза больше, чем в 2019 году. В 2025 году ожидается еще больший рост установки СЭС общей мощностью 7 гВт в России.

3. Распределение установленных солнечных электростанций по регионам России

Наибольшее количество солнечных электростанций установлено в южных регионах России, таких как Краснодарский край, Ростовская область и Ставропольский край. Это связано с тем, что в этих регионах климатические условия наиболее благоприятны для использования солнечной энергии. Однако, с каждым годом все больше СЭС устанавливается и в других регионах России.

4. Перспективы развития солнечной энергетики в России

Перспективы развития солнечной энергетики в России остаются достаточно высокими. В настоящее время правительство России разрабатывает программы поддержки возобновляемой энергетики, в том числе и солнечной. Кроме того, в России появляются новые технологии и оборудование для производства солнечных панелей, что позволяет улучшить качество продукции и снизить ее стоимость.

В России существует теоретический потенциал использования солнечной энергии, который оценивается в более чем 2300 миллиардов тонн условного топлива. При этом экономически эффективно использовать только 12,5 миллионов тонн условного топлива.

Из-за огромной территории России уровень солнечной радиации значительно варьируется, от 810 кВт·ч/м² в год в северных районах до 1400 кВт·ч/м² в год в южных районах. Количество солнечной радиации также сильно зависит от времени года, которое определяется широтой местоположения, например, в январе в 55° северной широте это составляет 1,69 кВт·ч/м², а в июле - 11,41 кВт·ч/м² в день. Места с наибольшим потенциалом использования солнечной энергии включают Северный Кавказ, районы, прилегающие к Черному и Каспийскому морям, южную Сибирь и Дальний Восток: Калмыкия, Ставропольский край, Ростовская область, Краснодарский край, Волгоградская область, Астраханская область, Алтай, Приморье, Читинская область и Бурятия.

8.2 Анализ перспектив применения солнечной энергии в России

По данным Минэнерго России, на январь 2022 года солнечные электростанции (СЭС) составили 1,962 ГВт, что составляет 0,78% от общей мощности электростанций РФ в Единой энергосистеме в размере 246,55 ГВт. Южные регионы страны лидируют в области генерации энергии от СЭС. Оренбургская и Астраханская области, а также республики Калмыкия, Бурятия и Башкирия находятся на первых местах по объему выработки солнечной энергии. В перспективе это может привести к тому, что солнечная энергетика начнет конкурировать с нефтегазовой отраслью[7].

График. Общий объем мощности СЭС в РФ.



Рисунок 36 - Общий объем мощности СЭС в РФ.

В России большие проекты в солнечной энергетике стали появляться после принятия в 2013 году правительственной программы, стимулирующей использование объектов ВИЭ на оптовом рынке электроэнергии. Первый объект промышленной СЭС мощностью 5МВт был построен на Алтае в 2014 году.

В 2020 году принята Энергетическая стратегия РФ, рассчитанная до 2035 года. В ней уточняется, что при благоприятном развитии событий

доля возобновляемых источников энергии в российской энергосистеме к этому году достигнет 3–5%.

Многие считают, что в России недостаточно солнечных дней для установки солнечных панелей. Также считается, что добыча нефти и газа является более выгодной альтернативой в большинстве регионов. Однако, согласно данным Минэнерго, все установленные солнечные электростанции в России являются прибыльными, в том числе и в регионах, где количество солнечных дней не так велико. Подчеркивается, что рентабельность в большей степени зависит от стоимости электроэнергии, а не от уровня инсоляции. Кроме того, инсоляция варьируется от 800 кВт·ч в год в Мурманске до 1 500 кВт·ч в год в Забайкальском крае, что также подтверждено Минэнерго.

Коэффициент использования установленной мощности

Солнечный потенциал Российской Федерации является значительно более богатым, чем у европейских стран, а также Россия имеет гораздо большую площадь в своем распоряжении. Следовательно, выработка солнечной энергии в России может значительно превысить средние показатели других стран, таких как Германия, которая считается одним из лидеров в развитии солнечной энергетики в мире. Согласно исследованиям информационно-аналитического центра «Новая энергетика», в Германии средний коэффициент использования установленной мощности фотоэлектрической генерации составляет 10%, что означает, что выработка солнечной электроэнергии за год составляет 10% от установленной мощности.

В городах России, например, Тула, Воронеж, Самара, Челябинск, Омск, Новосибирск, Красноярск, существует возможность построить солнечную электростанцию, которая спроектирована профессионально с учетом правильного угла наклона модулей и обладает качественным оборудованием. Такая электростанция может вырабатывать около 1150 кВт·ч энергии на каждый киловатт мощности. Например, в Краснодаре и Сочи, мы можем получить выработку на уровне примерно 1300 кВт·ч на один киловатт

мощности, что сравнимо с энергопроизводством на севере Италии, во Франции и Болгарии.

В России имеются районы, где временные изменения производства не настолько заметны. Например, южная часть Приморского края (Владивосток, Находка), где производство солнечной электростанции составляет 1460 кВт·ч на киловатт установленной мощности в год. Хотя климатические условия здесь таковы, что солнечная активность достигает своего пика зимой, а летом часто наблюдаются облачные дни. Таким образом, разница между высокими и низкими уровнями производства в самом продуктивном летнем месяце и самом неблагоприятном зимнем месяце не будет так велика, как в случае Астраханского варианта.

Глава 9. Заключение

Современный мир стоит перед вызовом — глобальными изменениями климата, которые вызваны основным источником энергии, а именно — углеродными ископаемыми. Растущее население и экономический рост ведут к увеличению энергопотребления, в связи с чем в настоящее время требуется разработка альтернативных источников энергии. Одним из наиболее перспективных источников является солнечная энергия, которая в настоящее время является одним из самых быстро растущих секторов в индустрии возобновляемой энергетики.

Технологии, связанные с преобразованием солнечной энергии, имеют большой потенциал для удовлетворения растущего спроса на энергию и сокращения выбросов углерода в атмосферу. Солнечные батареи для генерации электроэнергии, солнечные водонагреватели для бытовых нужд, солнечные насосные установки для водоснабжения сельской местности — это все примеры того, как солнечная энергия может быть использована в различных областях жизни.

Несмотря на многообещающие перспективы данного направления, существуют некоторые проблемы, которые могут существенно задержать

развитие технологий преобразования солнечной энергии. Одним из главных является низкий КПД солнечных панелей и других устройств, основанных на использовании солнечной энергии. Также существует проблема хранения солнечной энергии для последующего использования.

В целом, преобразователи солнечной энергии имеют большой потенциал, и дальнейшее развитие технологий может привести к значительному снижению выбросов углерода, улучшению экологической ситуации в мире и созданию новых рабочих мест в индустрии возобновляемой энергетики. Важно также сделать упор на исследования и развитие новых технологий, которые способны повысить КПД солнечных устройств и сократить затраты на их производство, что сделает солнечную энергию еще более доступной для всех.

Выводы:

В результате проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы:

1. Проведен анализ существующих панелей. Дана сравнительная характеристика для всех видов существующих панелей
2. Определены и исследованы главные факторы для эффективной работы солнечных преобразователей
3. Проанализированы современные технические решения повышения КПД солнечных преобразователей.
4. Выявлены основные экологические аспекты использования солнечных преобразователей и дана сравнительная характеристика солнечной энергетике с источниками невозобновляемой энергии.
5. На основе аналитической работы были установлены главные проблемы технического развития солнечных преобразователей.
6. Обобщены экономические аспекты солнечной энергетике. Проведена аналитическая работа по окупаемости солнечной станции.

7. Дана оценка перспективе развития солнечной энергии на территории РФ.

Список использованной литературы:

1. Инсоляция в России и угол наклона солнечных панелей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nova-sun.ru/insolyatsiya-v-rossii>
2. Инсоляция В Санкт-Петербурге [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nova-sun.ru/insolyatsiya-v-rossii/sankt-peterburg>
3. Как рассчитать солнечные панели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://solarb.ru/kak-rasschitat-solnechnye-paneli#i>
4. Studfile. Световые кванты Действие света. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/1589064/page:2/#:~:text=Фототок%20насыщения%20пропорционален%20световому%20поток%20С,света%20С%20падающего%20на%20это%20вещество>
5. Сайт о солнечных батареях и ветряках Петербурге [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nova-sun.ru/solnechnye-paneli/raschet-solnechnyh-batarej>
6. Калькулятор солнечных батарей - расчет выработки энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e-solarpower.ru/kalkulyator-vyrabotki-sb/>

7. ТЭК России . Российский потенциал энергии солнца [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2022/8/1050/
8. Сайт о солнечных батареях и ветряках. Крупнейшие солнечные электростанции в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nova-sun.ru/alternativnaya-energetika/krupnejshie-solnechnye-elektrostantsii-v-rossii>
9. Studfile. Солнечные установки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7373511/page:2/>
10. Topor.info. Солнечная энергетика сегодня и перспективы её дальнейшего развития.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://topor.info/hi-tech/solnechnaya-energetika>
11. СОК. История развития солнечной фотоэлектрической энергетике в России.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/istoriya-razvitiya-solnechnoy-fotoelektricheskoy-energetiki-v-rossii>
12. Лидоренко, Н.С. Развитие фотоэлектрической энергетике: электротехническая промышленность. Журнал Серии 22.; вып. 14.
13. Altenergiya. Разбираемся в многообразии видов солнечных панелей.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://altenergiya.ru/sun/mnogoobrazie-vidov-solnechnyx-panelej.html>
14. Eprussia. Кремний для солнечных батарей[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/epr/67/4556.htm>
15. Хабр. Положительное и отрицательное воздействие солнечных панелей на окружающую среду. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/580864/>
16. Mywatt. Из чего делают солнечные батареи: особенности строения различных поколений панелей[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mywatt.ru/poleznaya-informaciya/iz-chego-delaut-solnechnye-batarei-osobennosti-stroeniya-razlichnyh-pokolenij-panelej>

17. Dsisolar. Различные материалы, используемые для изготовления солнечных панелей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.dsisolar.com/info/the-different-materials-used-to-make-solar-pan-54367560.html>
18. Солнечная энергетика России: перспективы и проблемы развития. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://esto.tomsk.gov.ru/articles/sun/2764/>
19. Solar-Grids Launches All Back Contact Modules. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://taiyangnews.info/technology/solar-grids-launches-all-back-contact-modules/>
20. H. J. Snaith. Present status and future prospects of perovskite photovoltaics. *Nature Materials* **17**, 372-376, (2018).
21. M. A. Green, A. Ho-Baillie & H. J. Snaith. The emergence of perovskite solar cells. *Nature Photonics* **8**, 506-514, (2014).
22. S. Yang, B.-W. Park, E. H. Jung, N. J. Jeon, Y. C. Kim, D. U. Lee, S. S. Shin, J. Seo, E. K. Kim, J. H. Noh & S. I. Seok. Iodide management in formamidinium-lead-halide-based perovskite layers for efficient solar cells. *Science* **356**, 1376-1379, (2017).
23. M. A. Green & A. Ho-Baillie. Perovskite Solar Cells: The Birth of a New Era in Photovoltaics. *ACS Energy Letters* **2**, 822-830, (2017).
24. H. J. Snaith & S. Lilliu. The Path to Perovskite on Silicon PV. *Scientific Video Protocols* **1**, 1, (2018).
25. TNO. Back-contact solar panels. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tno.nl/en/technology-science/technologies/back-contact-solar-panels/>
26. Studfile. Поляризация и фотоэффект. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9079527/page:8/>
27. Да Роза, А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы / А. да Роза ; пер. с англ. под ред. С. П. Малышенко, О. С. Попеля. – Долгопрудный : Интеллект ; Москва : МЭИ, 2010 – 704 с.

28. Кашкаров, А. П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции /А. П. Кашкаров. – Москва : ДМК Пресс, 2011 – 144 с.
29. Минат, В. И. Причины экологических бедствий / В. И. Минат, Н. В. Коломеец. – Санкт-Петербург : Реноме, 2010 – 219 с.
30. Solar Energy Perspectives. International Energy Agency, France, 2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/publications/freepublications/pub> .
31. Макарова Е. А., Харитонов А. В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная. М. : Наука, 1972. 288 с.
32. Быстрицкий Г. Основы энергетики : учебник. М. : Инфра-М, 2005. 277 с.
33. Mywatt. От чего зависит КПД солнечных батарей? . [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mywatt.ru/poleznaya-informaciya/ot-chego-zavisit-kpd-solnechnyh-batarej>
34. Reinhard P., Bissig B., Pianezzi F., Avancini E., Hagendorfer H., Keller D., Fuchs P., Döbeli M., Vigo C., Crivelli P., Nishiwaki S., Buecheler S., Tiwari A. N. (2015) Features of KF and NaF Postdeposition Treatments of Cu(In, Ga)Se₂ Absorbers for High Efficiency Thin Film Solar Cells. . [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://doi.org/10.1021/acs.%20%0bchemmater>
35. Солнечная фотовольтаика: современное состояние и тенденции развития / В. А. Меличко [и др.] // Успехи физических наук. 2016. Т. 186, № 8. С. 801–852
36. Studfile. Влияние широты местности на производительность фотоэлектрической установки. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/6792997/page:2/>
37. Университет МФТИ. Образовательная программа. Солнечная энергетика. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://mipt.ru/upload/medialibrary/c74/font-fivt-7_8.pdf

38. Patel, P. Experimental results from performance improvement and radiation hardening of inverted metamorphic multi-junction solar cells / P. Patel // IEEE J. of Photovoltaics. 2012. Vol. 2, № 3. P. 377–381.
39. Aspnes, D. Dielectric functions and optical parameters of Si, Ge, GaP, GaAs, GaSb, InP, InAs and InSb from 1,5 to 6 eV / D. Aspnes // Phys. Rev. B. 1983. Vol. 27. P. 985–1009
40. Patents.google. Гетероструктура многопереходного солнечного элемента.[Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2548580C2/ru>
41. ХЕВЕЛ. Гетероструктурная технология. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://spb.hevelsolar.com/geterostrukturnaya-tehnologiya/>
42. Sinovoltaic. Interdigitated Back Contact cells. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/interdigitated-back-contact-cells/>
- 43.СКNOW. Фотоэффект. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cknow.ru/knowbase/332-513-fotoeffekt-opyty-ag-stoletova-zakony-fotoeffekta.html>

Приложение 1

Солнечные Электростанции и их устройство

Солнечные электростанции - это системы, которые используют энергию солнца для генерации электроэнергии. Они являются одним из наиболее перспективных и экологически чистых источников энергии на планете.

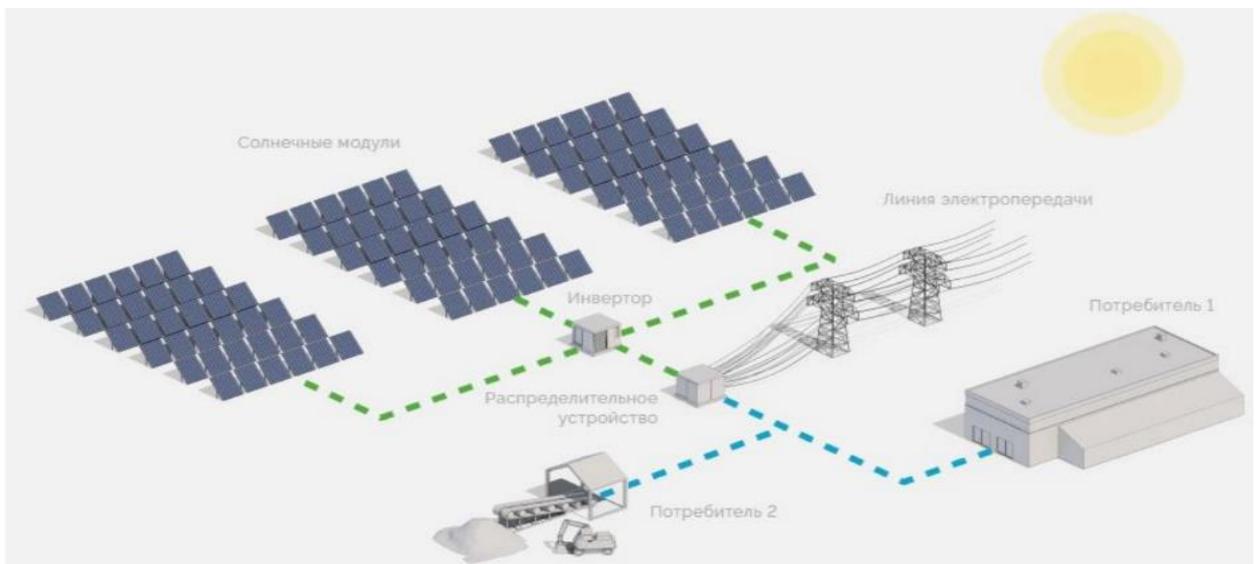


Рисунок 37. Схема **выработки** электроэнергии

Основные компоненты солнечной электростанции

1. Солнечные панели - основной элемент солнечной электростанции. Они состоят из фотоэлектрических ячеек, которые преобразуют солнечную энергию в электрическую. Каждая ячейка обычно состоит из кремния, который является полупроводником. Когда свет попадает на поверхность ячейки, электроны в кремниевом кристалле начинают двигаться, создавая электрический ток.

2. Инвертор - это устройство, которое преобразует постоянный ток, который генерируется солнечными панелями, в переменный ток, который используется для питания электрических приборов.

3. Батареи - используются для хранения электрической энергии, которая была сгенерирована солнечными панелями. Батареи обычно используются в тех случаях, когда электроэнергия нужна в ночное время или когда солнечное излучение недостаточно сильное.

4. Регулятор заряда - это устройство, которое контролирует зарядку батарей и защищает их от перезарядки.

Принцип работы солнечной электростанции

Солнечная электростанция работает по простому принципу: солнечные панели преобразуют солнечную энергию в электрическую энергию, которая затем используется для питания электрических приборов. Когда свет попадает на поверхность солнечной панели, фотоэлектрические ячейки внутри панели начинают генерировать электрический ток. Этот ток затем проходит через инвертор, который преобразует его в переменный ток. Переменный ток может быть использован для питания электрических приборов, таких как лампы, телевизоры и холодильники.

Если солнечная электростанция не использует батареи для хранения энергии, то она работает только в тех случаях, когда солнечное излучение достаточно сильное. В течение дня солнечные панели собирают энергию, которая затем используется для питания электрических приборов. В ночное время, когда солнечное излучение отсутствует, солнечная электростанция не может генерировать электрическую энергию.

Если солнечная электростанция использует батареи для хранения энергии, то она может генерировать электрическую энергию в любое время суток. Когда солнечное излучение достаточно сильное, солнечные панели генерируют электрическую энергию, которая затем используется для питания электрических приборов и зарядки батарей. Когда солнечное излучение отсутствует, электрическая энергия используется из батарей.

Преимущества и недостатки солнечных электростанций

Преимущества:

- Экологически чистая - солнечные электростанции не производят выбросов вредных веществ в атмосферу, что снижает негативное воздействие на окружающую среду.

- Независимость от источников энергии - солнечная энергия является бесконечным источником энергии, что позволяет снизить зависимость от других источников энергии, таких как нефть, газ и уголь.

- Низкие эксплуатационные расходы - после установки солнечной электростанции эксплуатационные расходы минимальны, так как солнечная энергия является бесплатным источником энергии.

- Долговечность - солнечные панели имеют длительный срок службы и не требуют регулярного технического обслуживания.

Недостатки:

- Зависимость от погодных условий - эффективность работы солнечных электростанций зависит от погодных условий, таких как ясность неба и интенсивность солнечного излучения.

- Высокие начальные инвестиционные затраты - стоимость установки солнечной электростанции высока, что может отпугнуть потенциальных инвесторов.

- Низкая эффективность - эффективность солнечных панелей не всегда достигает 100%, что может привести к снижению производительности солнечной электростанции.

- Необходимость большой площади для установки - для получения достаточного количества энергии необходимо устанавливать большое количество солнечных панелей, что требует большой площади.

Стоит отметить, что солнечные электростанции являются перспективным и экологически чистым источником энергии, но требуют значительных инвестиций и не могут полностью заменить традиционные источники энергии в настоящее время. Однако, с развитием технологий и улучшением эффективности солнечных панелей, их использование может стать более распространенным в будущем.

Важным преимуществом солнечных электростанций является их модульность. Это означает, что их можно устанавливать как на крупных производственных объектах, так и на небольших домашних участках.

Модульность позволяет увеличивать или уменьшать мощность солнечной электростанции в зависимости от потребностей.

Солнечные электростанции также могут быть установлены в отдаленных районах, где нет возможности подключения к электросети. Это может быть особенно полезно в развивающихся странах, где отсутствует доступ к энергии. Установка солнечных электростанций может помочь улучшить жизненные условия и повысить экономический потенциал таких регионов.

Они также могут стать частью микросетей, которые являются более устойчивыми и надежными, чем централизованные электросети. Микросети могут использоваться в городах и поселениях, где централизованные электросети не работают должным образом или вообще отсутствуют.

Кроме того, использование солнечной энергии может создать новые рабочие места и способствовать экономическому росту. По данным Международного агентства по возобновляемой энергии, в 2019 году в мире было занято около 11 миллионов человек в отрасли возобновляемой энергетики, включая солнечную энергию. Это число может продолжать расти, поскольку солнечная энергия является одним из наиболее быстрорастущих секторов энергетики.

Солнечная энергия также может сократить зависимость от импорта энергии и улучшить энергетическую безопасность стран. Многие страны уже инвестируют в солнечную энергию, чтобы уменьшить свою зависимость от нефти и газа, а также для сокращения выбросов парниковых газов.

Типы СЭ (в приложение)

Солнечные станции могут быть разных типов в зависимости от их функционального назначения и конструктивных особенностей.

- Концентрационные (тепловые) солнечные электростанции



Рисунок 38 - Концентрационные (тепловые) солнечные электростанции

Концентрационные (тепловые) солнечные электростанции (КСЭ) башенного типа - это установки, которые используют солнечную энергию для генерации электроэнергии на коммерческом уровне. Они отличаются от фотоэлектрических станций тем, что используют зеркала или линзы для сосредоточения солнечного света на маленькую точку, где расположен тепловой приемник.

Данный тип электростанций позволяет использовать технические решения, широко применяемые в обычных ТЭЦ, и достигать сравнимых показателей КПД порядка 20%.

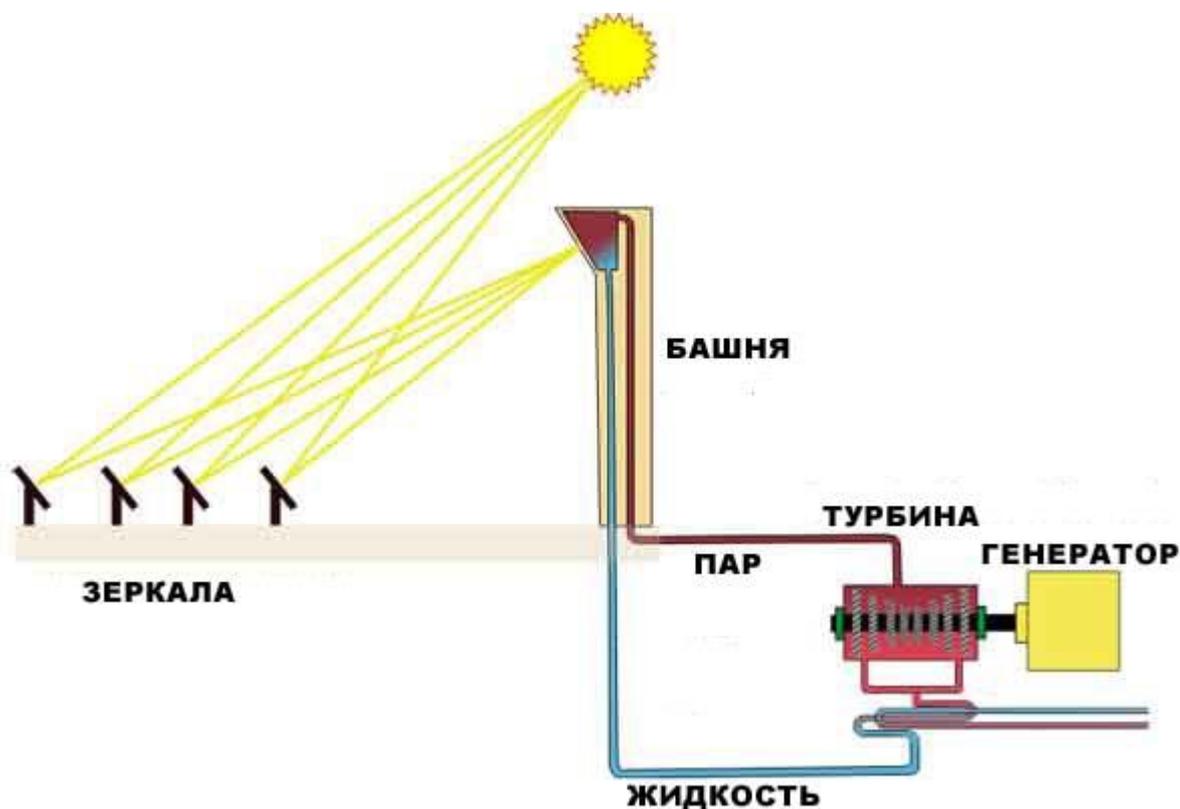


Рисунок 39- Схема работы КСЭ.

КСЭ башенного типа состоят из поля зеркал (гелиостатов), которые отслеживают движение солнца и отражают его лучи на тепловой приемник, расположенный на вершине башни. Тепловой приемник может быть заполнен жидким металлом или водяным паром, который нагревается до очень высоких температур (около 500 градусов Цельсия). Этот тепловой приемник используется для нагрева воды, которая в свою очередь приводит в движение турбину, генерирующую электрический ток.

КСЭ башенного типа имеют ряд преимуществ перед другими типами солнечных станций. Они могут работать даже в областях с низкой интенсивностью солнечного света, таких как северные широты, благодаря использованию зеркал, которые концентрируют свет на маленькую площадь. Кроме того, они могут сохранять тепло и продолжать генерировать электроэнергию в течение нескольких часов после заката солнца, благодаря тому, что тепловой приемник сохраняет тепло на протяжении некоторого времени.

Однако у КСЭ башенного типа есть и недостатки. Они требуют больших затрат на строительство и эксплуатацию, а также занимают большую площадь. Кроме того, они могут оказывать негативное влияние на окружающую среду, например, вызывая изменение температуры почвы вокруг башни.

- СЭС тарельчатого (дискового) типа



Рисунок 40 - Солнечные электростанции тарельчатого (дискового) типа

Солнечные электростанции (СЭС) тарельчатого (дискового) типа - это установки, которые используют солнечную энергию для генерации электроэнергии на коммерческом уровне. Они отличаются от фотоэлектрических станций тем, что используют зеркальные поверхности, напоминающие форму тарелки или диска, для сосредоточения солнечного света на маленькую точку, где расположен тепловой приемник. Использование водородного двигателя Стирлинга в СЭС тарельчатого типа с площадью около 100 квадратных метров, установленной на территории ЮАР, позволило достичь 34% КПД.

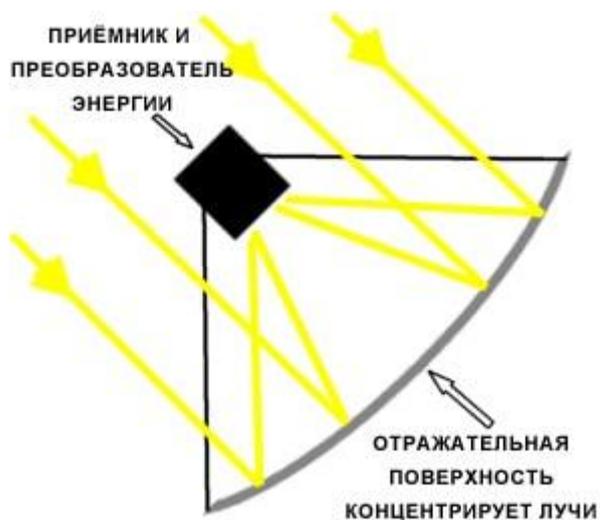


Рисунок 41 - Схема работы Солнечные электростанции тарельчатого (дискowego) типа

СЭС тарельчатого типа состоят из поля зеркальных дисков, которые отслеживают движение солнца и отражают его лучи на тепловой приемник, расположенный в центре диска. Тепловой приемник может быть заполнен жидким металлом или водяным паром, который нагревается до очень высоких температур (около 500 градусов Цельсия). Этот тепловой приемник используется для нагрева воды, которая в свою очередь приводит в движение турбину, генерирующую электрический ток.

СЭС тарельчатого типа имеют ряд преимуществ перед другими типами солнечных станций. Они могут работать даже в областях с низкой интенсивностью солнечного света, таких как северные широты, благодаря использованию зеркал, которые сосредотачивают свет на маленькую площадь. Кроме того, они могут сохранять тепло и продолжать генерировать электроэнергию в течение нескольких часов после заката солнца, благодаря тому, что тепловой приемник сохраняет тепло на протяжении некоторого времени.

Однако у СЭС тарельчатого типа есть и недостатки. Они требуют больших затрат на строительство и эксплуатацию, а также занимают большую площадь. Кроме того, они могут оказывать негативное влияние на

окружающую среду, например, вызывая изменение температуры почвы вокруг установки.

- СЭС параболоцилиндрического тип



Рисунок 42 - Солнечные электростанции (СЭС) параболоцилиндрического типа

Солнечные электростанции (СЭС) параболоцилиндрического типа - это установки, которые используют солнечную энергию для генерации электроэнергии на коммерческом уровне. Они отличаются от фотоэлектрических станций тем, что используют параболические зеркала, которые сосредотачивают солнечный свет на тепловой приемник, расположенный вдоль параболической поверхности.

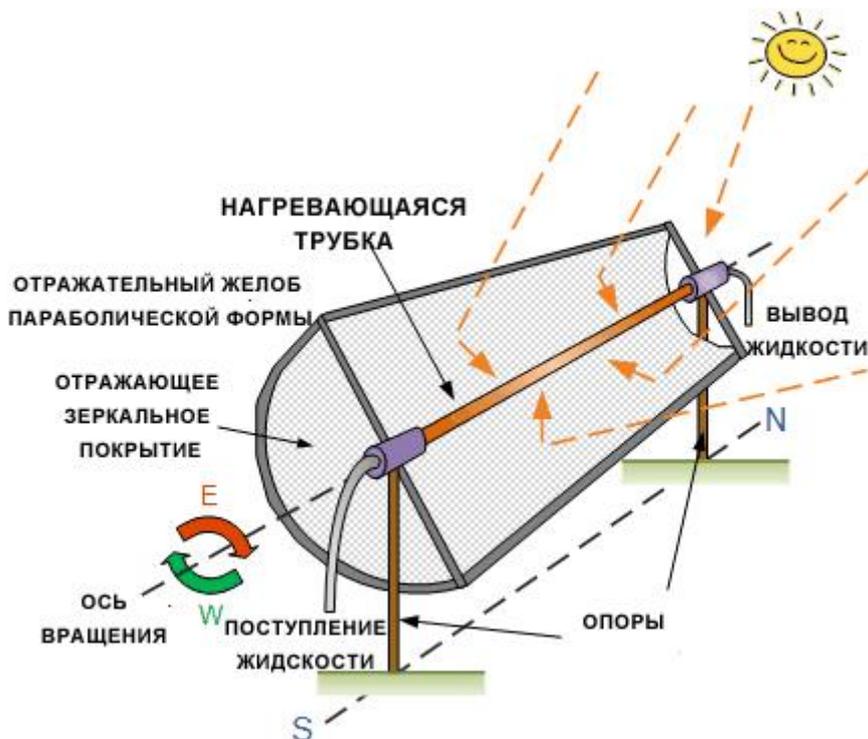


Рисунок 43 - Схема работы СЭС

СЭС параболоцилиндрического типа состоят из параболических зеркал, которые отслеживают движение солнца и отражают его лучи на тепловой приемник, расположенный вдоль параболической поверхности. Тепловой приемник может быть заполнен жидким металлом или водяным паром, который нагревается до очень высоких температур (около 500 градусов Цельсия). Этот тепловой приемник используется для нагрева воды, которая в свою очередь приводит в движение турбину, генерирующую электрический ток.

СЭС параболоцилиндрического типа имеют ряд преимуществ перед другими типами солнечных станций. Они могут работать даже в областях с низкой интенсивностью солнечного света, таких как северные широты, благодаря использованию зеркал, которые сосредачивают свет на маленькую площадь. Кроме того, они могут сохранять тепло и продолжать генерировать электроэнергию в течение нескольких часов после заката солнца, благодаря тому, что тепловой приемник сохраняет тепло на протяжении некоторого времени.

Однако у СЭС параболоцилиндрического типа есть и недостатки. Они требуют больших затрат на строительство и эксплуатацию, а также занимают большую площадь. Кроме того, они могут оказывать негативное влияние на окружающую среду, например, вызывая изменение температуры почвы вокруг установки.

- СЭС с использованием двигателя Стирлинга



Рисунок 44 - Солнечные электростанции (СЭС) с использованием двигателя Стирлинга

Солнечные электростанции (СЭС) с использованием двигателя Стирлинга - это установки, которые используют солнечную энергию для генерации электроэнергии на коммерческом уровне. Они отличаются от других типов СЭС тем, что используют двигатель Стирлинга для преобразования тепловой энергии, полученной от солнечных коллекторов, в механическую энергию, которая затем используется для генерации электрического тока.

СЭС с использованием двигателя Стирлинга состоят из солнечных коллекторов, которые собирают солнечную энергию и передают ее в теплообменник, где она используется для нагрева рабочего газа (обычно гелия). Рабочий газ затем проходит через двигатель Стирлинга, который использует тепловую энергию для приведения в движение поршня, который в свою очередь приводит в движение генератор электрического тока.

СЭС с использованием двигателя Стирлинга имеют ряд преимуществ перед другими типами СЭС. Они могут работать эффективно при низкой интенсивности солнечного света, благодаря тому, что рабочий газ может быть нагрет до высоких температур. Кроме того, они могут продолжать генерировать электрический ток в течение нескольких часов после заката солнца, благодаря тому, что рабочий газ сохраняет тепло на протяжении некоторого времени.

Однако у СЭС с использованием двигателя Стирлинга есть и недостатки. Они требуют больших затрат на строительство и эксплуатацию, а также занимают большую площадь. Кроме того, двигатель Стирлинга может быть довольно сложным в производстве и обслуживании, что может повысить затраты на эксплуатацию.

- Солнечно-вакуумные электростанции

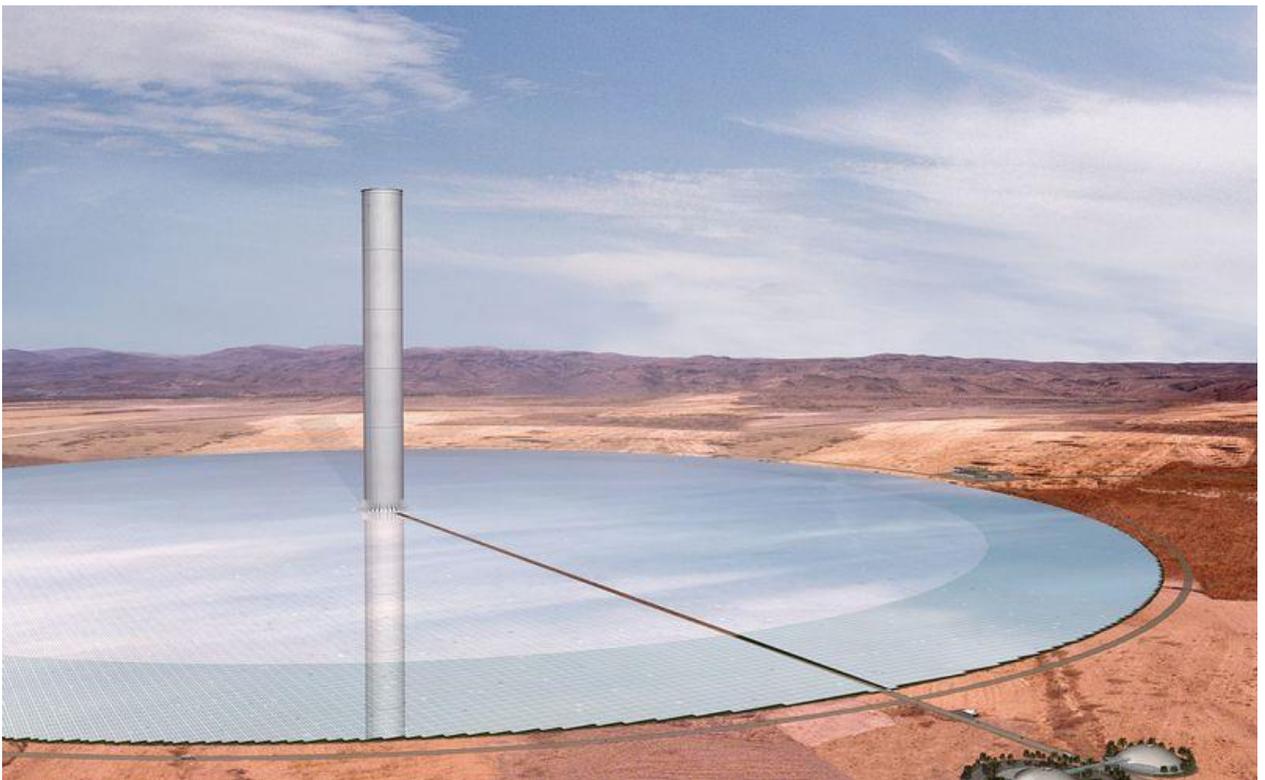


Рисунок 45 - Солнечно-вакуумная электростанция

Солнечно-вакуумные электростанции - это установки, которые используют солнечную энергию для генерации электроэнергии на коммерческом уровне. Они отличаются от других типов СЭС тем, что

используют технологию вакуумного покрытия, которая позволяет собирать и сохранять солнечную энергию в более эффективной форме.

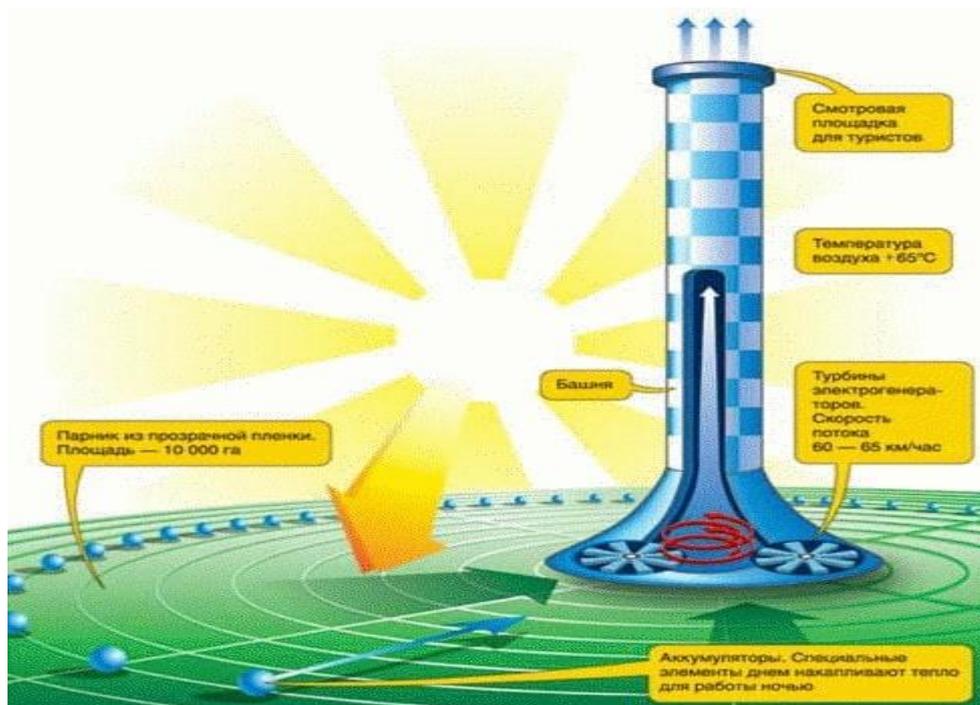


Рисунок 46 - Схема работы солнечно-вакуумной электростанции

Солнечно-вакуумные электростанции состоят из ряда солнечных коллекторов, которые покрыты вакуумным слоем. Вакуумный слой предназначен для защиты коллекторов от потери тепла и снижения теплопроводности. Под вакуумом, температура коллекторов может достигать очень высоких значений, что позволяет собирать и сохранять энергию в виде пара или горячей воды.

Собранная энергия затем используется для нагрева воды, которая приводит в движение турбину, генерирующую электрический ток. Вакуумные коллекторы могут быть установлены на крышах зданий, на открытых площадках или на специальных стойках, в зависимости от местности и потребностей.

Сооруженная в 1982 году возле Мадрида станция, располагалась в круге радиусом 122 метра с центральной колонной высотой около 200 метров. Её максимальная мощность достигала 50 кВт. После 8 лет эксплуатации станцию демонтировали. Основной проблемой была коррозия центральной колонны,

что в условиях сильных ветров, не допускало её дальнейшей эксплуатации. Построенная в Китае в 2010 году СЭС подобного типа смогла выдать 200 кВт удельной мощности с занимаемой площади в 277 Га.

Солнечно-вакуумные электростанции имеют ряд преимуществ перед другими типами СЭС. Они могут работать эффективно при низкой интенсивности солнечного света, благодаря тому, что вакуумный слой защищает коллекторы от потери тепла и снижения теплопроводности. Кроме того, они могут продолжать генерировать электрический ток в течение нескольких часов после заката солнца, благодаря тому, что собранная энергия может быть сохранена в виде пара или горячей воды.

Однако у солнечно-вакуумных электростанций есть и недостатки. Они требуют больших затрат на строительство и эксплуатацию, а также занимают большую площадь. Кроме того, они могут быть более сложными в производстве и обслуживании, что может повысить затраты на эксплуатацию.

- Фотоэлектрические солнечные электростанции



Рисунок 47 - Фотоэлектрические солнечные электростанции

Фотоэлектрические солнечные электростанции (ФЭС) - это установки, которые используют солнечную энергию для генерации электроэнергии на коммерческом уровне. Они отличаются от других типов СЭС тем, что используют фотоэлектрические ячейки для преобразования солнечной энергии в электрический ток.

ФЭС состоят из ряда фотоэлектрических ячеек, которые собирают солнечную энергию и преобразуют ее в электрический ток. Фотоэлектрические ячейки состоят из полупроводниковых материалов, которые преобразуют фотоны света в электроны. Электроны затем проходят через электрическую цепь и генерируют электрический ток.

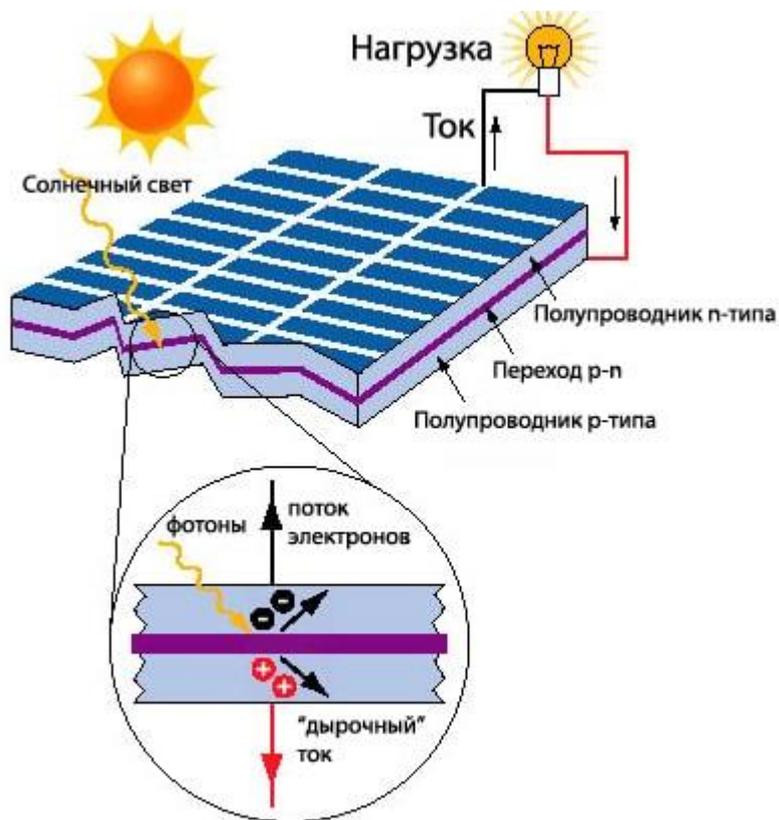


Рисунок 48 - Схема ФЭС

ФЭС могут быть установлены на крышах зданий, на открытых площадках или на специальных стойках, в зависимости от местности и потребностей. Собранный электрический ток может быть использован для непосредственного потребления, хранения в батареях или подачи в электрическую сеть.

Фотоэлектрические солнечные электростанции имеют ряд преимуществ перед другими типами СЭС. Они могут работать эффективно при высокой интенсивности солнечного света, что позволяет им генерировать большое количество электрического тока. Кроме того, они могут быть установлены на крышах зданий, что позволяет сократить затраты на землю и эксплуатацию.

Однако у фотоэлектрических солнечных электростанций есть и недостатки. Они требуют больших затрат на строительство и эксплуатацию, а также могут быть менее эффективными при низкой интенсивности солнечного света. Кроме того, они могут быть менее эффективными при использовании

солнечных батарей, которые могут быстро выходить из строя в результате погодных условий или других факторов.

-

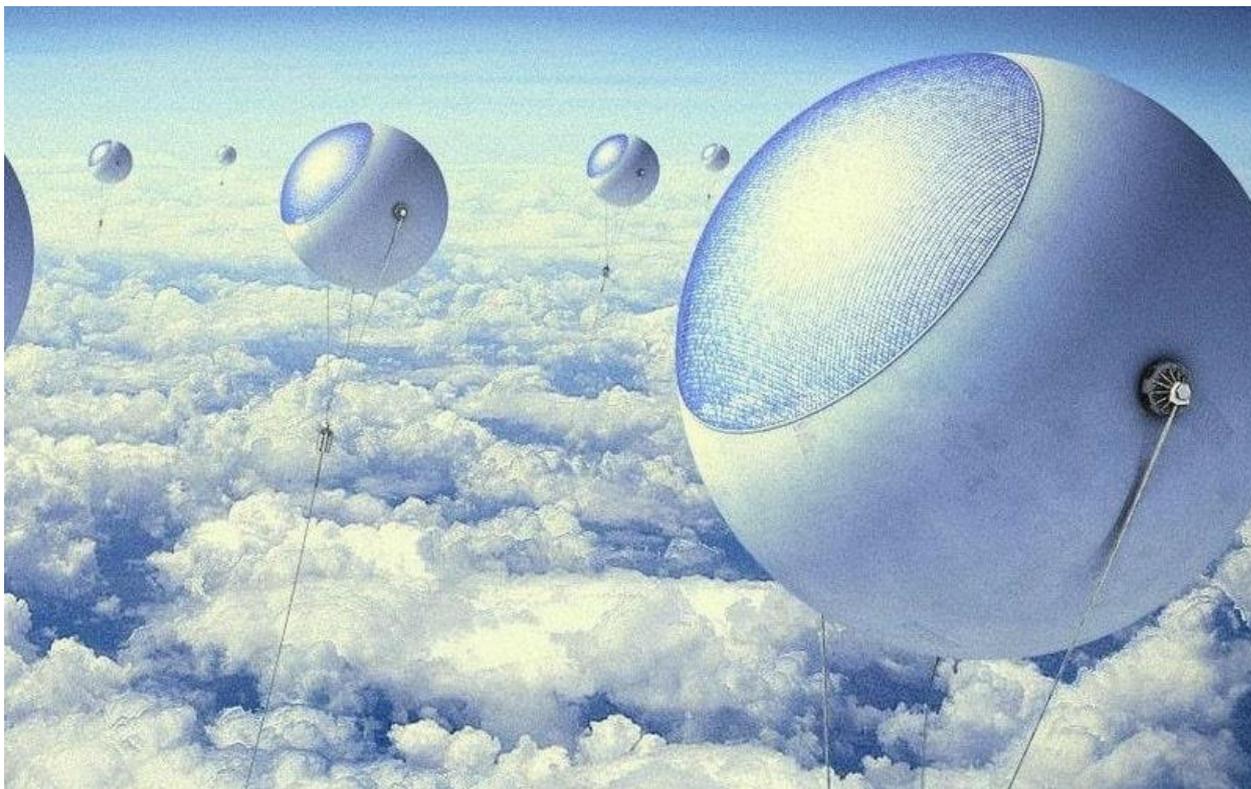


Рисунок 49 - Концепт аэростата с солнечными батареями

Аэростатные СЭС (аэросолнечные электростанции) - это установки, которые используют солнечную энергию для генерации электроэнергии на коммерческом уровне, используя аэростаты в качестве подъемных устройств для размещения солнечных панелей на высоте до нескольких километров над землей.

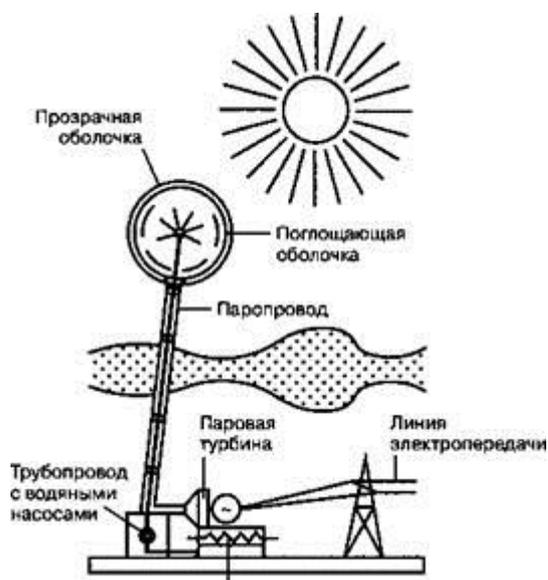


Рисунок 50 - Паровая аэростатная СЭС

Аэросолнечные электростанции состоят из газонаполненных аэростатов, которые удерживают солнечные панели на высоте. Солнечные панели собирают солнечную энергию и преобразуют ее в электрический ток, который передается на землю через кабели, которые соединяют аэростаты и подземную станцию.

Аэростатные СЭС могут работать эффективно в течение всего дня, благодаря тому, что солнечные панели находятся на высоте, где они могут получать солнечную энергию в течение длительного времени. Кроме того, они могут быть размещены на удалении от населенных пунктов, что позволяет сократить воздействие на окружающую среду.

Однако у аэростатных СЭС есть и недостатки. Они требуют больших затрат на проектирование, строительство и эксплуатацию, а также могут быть менее надежными в непредсказуемых погодных условиях. Кроме того, они могут создавать определенные проблемы с летной безопасностью и требовать специальных разрешений на использование воздушного пространства.

Тем не менее, аэростатные СЭС имеют большой потенциал для генерации электроэнергии в будущем и могут стать важным элементом энергетической инфраструктуры в ближайшие десятилетия.



Рисунок 51 - Проект Mohammed Bin Rashid Al Maktoum Solar Park — лучший пример комбинированной СЭС

Комбинированные СЭС (солнечные электростанции) - это установки, которые используют несколько типов технологий для генерации электроэнергии на коммерческом уровне. Эти установки могут использовать солнечную энергию, ветроэнергию или другие источники энергии для генерации электрического тока.

Комбинированные СЭС могут быть построены на базе солнечных электростанций, которые дополняются другими источниками энергии, такими как ветроэнергия или гидроэнергия. В некоторых случаях комбинированные СЭС могут быть построены на базе солнечных электростанций, которые могут использовать различные технологии для увеличения эффективности и производительности.

Комбинированные СЭС имеют ряд преимуществ перед другими типами СЭС. Они могут быть более надежными и эффективными, поскольку они используют несколько источников энергии, что позволяет им компенсировать

недостатки каждого из них. Кроме того, они могут быть более экономически выгодными, поскольку различные источники энергии могут быть использованы в соответствии с изменениями погодных условий или временем суток.

Однако у комбинированных СЭС есть и недостатки. Они требуют больших затрат на проектирование, строительство и эксплуатацию, а также могут быть более сложными в управлении и поддержании. Кроме того, они могут быть менее эффективными при использовании различных технологий, которые могут взаимодействовать друг с другом и снижать производительность.

Тем не менее, комбинированные СЭС имеют большой потенциал для генерации электроэнергии в будущем и могут стать важным элементом энергетической инфраструктуры в ближайшие десятилетия. Они могут обеспечить более стабильное и надежное производство электроэнергии, что является важным фактором для устойчивого развития и экономического роста.

Приложение 2

Расчет потребления и окупаемости солнечной панели для частного дома

Для расчета потребления и окупаемости солнечной панели для частного дома, следует выполнить следующие шаги:

1. Определите среднее потребление электроэнергии вашего дома в кВт-ч за месяц. Эту информацию можно найти на счетах за электроэнергию.

2. Определите мощность солнечной панели, необходимой для покрытия вашего среднего потребления электроэнергии. Обычно, солнечная панель мощностью 1 кВт может производить примерно 120-150 кВт-ч электроэнергии в месяц в зависимости от местоположения и климатических условий.

3. Определите стоимость инвестиционных затрат на установку солнечной панели. Это может включать стоимость самих панелей, инвертора, крепежных элементов, проводов и т.д.

4. Определите срок окупаемости инвестиций в солнечную панель. Для этого используйте формулу (3)

5. Учтите налоги, субсидии и изменение стоимости электроэнергии в течение времени окупаемости. Для этого может потребоваться использование прогнозных данных или средних значений за предыдущие годы.

6. Определите дополнительные расходы, связанные с обслуживанием и ремонтом солнечной панели, а также стоимость земли и ее аренды (если требуется).

Пример расчета потребности солнечных панелей для частного дома в пригороде Санкт-Петербурга в приложении 2.

Обратите внимание, что точность расчетов может быть низкой, если не учитывать многие факторы, такие как климатические условия, угол наклона и ориентация солнечной панели, использование батарей для хранения энергии и

т.д. Поэтому, для более точных расчетов рекомендуется обратиться к специалистам в этой области.

Пример расчета потребности солнечных панелей для частного дома в пригороде Санкт-Петербурга

Для того чтобы рассчитать необходимое количество панелей которое покроет потребления домохозяйства (частного дома в садоводстве) нужно найти ряд переменных в несколько этапов. Этапы расчёта:

1.Определения уровня потребления

Для детального расчёта нужно составить список всех электроприборов в доме, включая лампочки. Выписать мощность (Вт) и время работы каждого устройства на протяжении суток. Перемножите два показателя и получить расход электроэнергии на каждый электроприбор (Вт/час). Сложив результаты, получим, сколько потребляет домохозяйство в сутки, а перемножив на 30 (дней), сможем определить месячный показатель[5].

Таблица 3 - Расчетное потребление домохозяйства.

Потребитель	Мощность (Ватт)	Время работы (часы)	Расход (Ватт/ч)
Телевизор	100	4	400
Компьютер	100	4	400
Холодильник	300	24	7200
Стиральная машина	500	1	500
Посудомойная машина	920	1	920
Электрочайник	2000	0,3	600
Освещение	70	10	700
Бойлер на 100 л	700	3	2100
Итого в сутки			12820
Всего в месяц			384600

Полученное значение неокончательно: нужно заложить расходы электроэнергии на инвертор и контроллер, а также неизбежные потери разряда-заряда аккумулятора и преобразования постоянного тока в переменный, плюс — нужно учесть пусковую мощность электроприборов. В среднем к показателю потребления нужно прибавить ещё 40-50% — это в основном зависит от типа оборудования, которое вы будете использовать в системе солнечной электростанции. Таким образом, в нашем примере окончательное потребление будет около 576 900 Ватт/ч (576,9 кВт/ч) в течение месяца.

2. Определения уровня инсоляции и оптимального угла наклона.

Инсоляция - это процесс воздействия солнечного излучения на определенную поверхность. Этот показатель уникален для каждого региона.

Санкт-Петербург, являясь северо-западным регионом России, имеет низкий уровень солнечного воздействия и непродолжительное солнечное сияние. Поэтому Ленинградскую область можно рассматривать как регион, где использование солнечных панелей целесообразно в основном летнее время года, зимой понадобится подключение к центральной сети[2].

Регион: Санкт-Петербург, Ленинградская область

Координаты: 59.939095, 30.315868

Солнечное сияние: менее 1700 час/год

Среднегодовая инсоляция: 3,4 кВт*ч/м²

Средний уровень наклона: 48,3°

Эффективность солнечных панелей: Низкая

В течение года Солнце по-разному освещает поверхность Земли, следовательно и инсоляция в Санкт-Петербурге в зависимости от сезона имеет различные показатели. А для более эффективной выработки энергии угол наклона солнечных панелей рекомендуется менять с учётом годового изменения положения Солнца[2].

3. Рассчитываем суточную производительность выбранной солнечной батареи.

Возьмем панель мощностью в 250 Вт. Также нужно учесть что изготовитель панели указывает номинальную мощность. Если заявлено 250 Вт, значит столько энергии вы будете получать в период максимальной солнечной активности, когда погода безоблачная и лучи падают на панели под прямым углом. Максимальная (пиковая) солнечная активность зависит от региона и

времени года, то есть она непостоянная. Из этого следует, что в разные времена года один и тот же набор солнечных панелей будет вырабатывать разное количество энергии. Чтобы рассчитать, сколько солнечных батарей нужно для дома или квартиры, используем формулу:

$$P = K \cdot S \cdot \text{КПД},$$

P – производительность одной батареи,

K – коэффициент инсоляции ,

S – площадь одной батареи,

КПД – эффективность батареи в процентах.

В нашем примере, для батареи мощностью 250 Вт, площадью 2 м² и с эффективностью (КПД) 15% мы получим:

Среднесуточная производительность:

годовая: 3,4 кВт/ч/м² x 2м² x 0,15 = 1,02 кВт;

max: 5,76 кВт/ч/м² x 2м² x 0,15 = 1,728 кВт;

min: 0,87 кВт/ч/м² x 2м² x 0,15 = 0,261 кВт.

3. Рассчитываем, сколько нужно солнечных панелей

Уже известно сколько энергии потребляет загородный дом в месяц и знаем, сколько может выработать энергии одна панель в месяц. Формула будет простой:

Количество солнечных панелей = количество потребляемой домохозяйством энергии в месяц / количество производимой энергии одной солнечной панелью в месяц.

Для домика в пригороде Санкт-Петербурга это будет выглядеть так:

В июне(min): $12,82 / 1,728 = 7,5$ (8 панелей)

В декабре(max): $12,82 / 0,261 = 49,1$ (50 панелей)

Можно округлить или пересчитать с панелями другой мощности. Это результат без учёта пасмурных дней, поэтому в каждом индивидуальном случае нужно добавить некоторое количество.

Приложение 3

Расчет окупаемости солнечной электростанции для Санкт-Петербурга, Мурманска, Краснодара

Расчет окупаемости солнечной электростанции для Мурманска

Для расчета окупаемости солнечной электростанции в Мурманске необходимо учитывать следующие факторы:

1. Инсоляция - количество солнечной радиации, которое падает на площадь солнечной панели. В Мурманске инсоляция достаточно низкая из-за широты города и климатических условий. Среднее значение инсоляции в Мурманске составляет около 900-1000 кВт*ч/м² в год.

2. Размер и мощность солнечной электростанции. Размер и мощность солнечной электростанции зависят от потребности в электроэнергии и доступной площади для установки солнечных панелей. Для расчета окупаемости солнечной электростанции в Мурманске мы будем использовать стандартный размер и мощность солнечной электростанции - 100 кВт.

3. Стоимость установки. Стоимость установки солнечной электростанции в Мурманске может быть выше, чем в других регионах России, из-за климатических условий и сложных геологических условий. Средняя стоимость установки солнечной электростанции в Мурманске составляет около 10 млн рублей.

4. Стоимость электроэнергии. Стоимость электроэнергии в Мурманске составляет около 5-6 рублей за кВт*ч.

Исходя из вышеперечисленных факторов, можно рассчитать окупаемость солнечной электростанции в Мурманске. При условии, что солнечная электростанция будет работать в течение 25 лет, а срок окупаемости не должен превышать 10 лет, расчет будет следующим:

1. Расчет годового производства энергии:

$100 \text{ кВт} * 900 \text{ кВтч/м}^2 * 0,15 \text{ (коэффициент использования)} = 13\,500 \text{ кВтч/год}$

2. Годовой доход от продажи энергии:

$$13\,500 \text{ кВтч/год} * 5 \text{ рублей/кВтч} = 67\,500 \text{ рублей/год}$$

3. Стоимость установки солнечной электростанции:

10 млн рублей

4. Расчет годовых затрат на кредит (при условии кредита на 10 лет с 10% годовых):

$$1\,397\,541 \text{ рублей/год}$$

5. Чистый годовой доход:

$$67\,500 \text{ рублей/год} - 1\,397\,541 \text{ рублей/год} = -1\,330\,041 \text{ рублей/год}$$

6. Срок окупаемости:

$$10 \text{ млн рублей} / 1\,330\,041 \text{ рублей/год} = 7,5 \text{ лет}$$

Таким образом, срок окупаемости солнечной электростанции в Мурманске составляет 7,5 лет, что является достаточно хорошим результатом, учитывая низкую инсоляцию и высокую стоимость установки в данном регионе.

Расчет окупаемости солнечной электростанции для Санкт – Петербурга

Для расчета окупаемости солнечной электростанции в Санкт-Петербурге необходимо учитывать следующие факторы:

1. Инсоляция - количество солнечной радиации, которое падает на площадь солнечной панели. В Санкт-Петербурге инсоляция ниже, чем в южных регионах России, но выше, чем в Мурманске. Среднее значение инсоляции в Санкт-Петербурге составляет около 1100-1200 кВт*ч/м² в год.

2. Размер и мощность солнечной электростанции. Размер и мощность солнечной электростанции зависят от потребности в электроэнергии и доступной площади для установки солнечных панелей. Для расчета

окупаемости солнечной электростанции в Санкт-Петербурге мы будем использовать стандартный размер и мощность солнечной электростанции - 100 кВт.

3. Стоимость установки. Стоимость установки солнечной электростанции в Санкт-Петербурге может быть ниже, чем в Мурманске, из-за более благоприятных климатических условий. Средняя стоимость установки солнечной электростанции в Санкт-Петербурге составляет около 8 млн рублей.

4. Стоимость электроэнергии. Стоимость электроэнергии в Санкт-Петербурге составляет около 4-5 рублей за кВт*ч.

Исходя из вышеперечисленных факторов, можно рассчитать окупаемость солнечной электростанции в Санкт-Петербурге. При условии, что солнечная электростанция будет работать в течение 25 лет, а срок окупаемости не должен превышать 10 лет, расчет будет следующим:

1. Расчет годового производства энергии:

$100 \text{ кВт} * 1100 \text{ кВтч/м}^2 * 0,15 \text{ (коэффициент использования)} = 16\,500 \text{ кВтч/год}$

2. Годовой доход от продажи энергии:

$16\,500 \text{ кВтч/год} * 4,5 \text{ рублей/кВтч} = 74\,250 \text{ рублей/год}$

3. Стоимость установки солнечной электростанции:

8 млн рублей

4. Расчет годовых затрат на кредит (при условии кредита на 10 лет с 10% годовых):

1 758 887 рублей/год

5. Чистый годовой доход:

$74\,250 \text{ рублей/год} - 1\,758\,887 \text{ рублей/год} = -1\,684\,637 \text{ рублей/год}$

6. Срок окупаемости:

8 млн рублей / 1 684 637 рублей/год = 4,7 лет

Таким образом, срок окупаемости солнечной электростанции в Санкт-Петербурге составляет 4,7 лет, что является очень хорошим результатом, благодаря более высокой инсоляции и более низкой стоимости установки в данном регионе.

Расчет окупаемости солнечной электростанции для Краснодара

Для расчета окупаемости солнечной электростанции в Краснодаре необходимо учитывать следующие факторы:

1. Инсоляция - количество солнечной радиации, которое падает на площадь солнечной панели. В Краснодаре инсоляция выше, чем в северных регионах России, и составляет около 1700-1800 кВт*ч/м² в год.

2. Размер и мощность солнечной электростанции. Размер и мощность солнечной электростанции зависят от потребности в электроэнергии и доступной площади для установки солнечных панелей. Для расчета окупаемости солнечной электростанции в Краснодаре мы будем использовать стандартный размер и мощность солнечной электростанции - 100 кВт.

3. Стоимость установки. Стоимость установки солнечной электростанции в Краснодаре может быть выше, чем в Мурманске или Санкт-Петербурге, из-за более высокой стоимости материалов и услуг. Средняя стоимость установки солнечной электростанции в Краснодаре составляет около 10 млн рублей.

4. Стоимость электроэнергии. Стоимость электроэнергии в Краснодаре составляет около 3,5-4 рублей за кВт*ч.

Исходя из вышеперечисленных факторов, можно рассчитать окупаемость солнечной электростанции в Краснодаре. При условии, что солнечная электростанция будет работать в течение 25 лет, а срок окупаемости не должен превышать 10 лет, расчет будет следующим:

1. Расчет годового производства энергии:

$100 \text{ кВт} * 1700 \text{ кВтч/м}^2 * 0,15 \text{ (коэффициент использования)} = 25\ 500 \text{ кВтч/год}$

2. Годовой доход от продажи энергии:

$25\ 500 \text{ кВтч/год} * 3,75 \text{ рублей/кВтч} = 95\ 625 \text{ рублей/год}$

3. Стоимость установки солнечной электростанции:

10 млн рублей

4. Расчет годовых затрат на кредит (при условии кредита на 10 лет с 10% годовых):

2 345 231 рублей/год

5. Чистый годовой доход:

$95\ 625 \text{ рублей/год} - 2\ 345\ 231 \text{ рублей/год} = -2\ 249\ 606 \text{ рублей/год}$

6. Срок окупаемости:

$10 \text{ млн рублей} / 2\ 249\ 606 \text{ рублей/год} = 4,4 \text{ лет}$

Таким образом, срок окупаемости солнечной электростанции в Краснодаре составляет 4,4 лет, что является очень хорошим результатом, благодаря более высокой инсоляции и более низкой стоимости электроэнергии в данном регионе.

Сравнение эффективности солнечных станций в Санкт-Петербурге, Краснодаре, Мурманске

Солнечные станции в Санкт-Петербурге, Краснодаре и Мурманске будут иметь разную эффективность, исходя из климатических условий в каждом регионе.

1. Санкт-Петербург: Инсоляция в Санкт-Петербурге составляет около 1100-1200 кВт*ч/м² в год. Это значительно меньше, чем в Краснодаре или Мурманске. Однако, стоимость установки солнечной электростанции в Санкт-Петербурге может быть ниже, чем в других регионах, из-за более

благоприятных условий для строительства. Срок окупаемости солнечной электростанции в Санкт-Петербурге составляет около 4,7 лет.

2. Краснодар: Инсоляция в Краснодаре составляет около 1700-1800 кВт*ч/м² в год. Это значительно выше, чем в Санкт-Петербурге или Мурманске. Стоимость установки солнечной электростанции в Краснодаре может быть выше, чем в других регионах, из-за более высокой стоимости материалов и услуг. Срок окупаемости солнечной электростанции в Краснодаре составляет около 4,4 лет.

3. Мурманск: Инсоляция в Мурманске составляет около 800-900 кВт*ч/м² в год. Это значительно меньше, чем в Санкт-Петербурге или Краснодаре. Однако, стоимость установки солнечной электростанции в Мурманске может быть выше, чем в других регионах, из-за более сложных климатических условий и больших затрат на оборудование, которое может выдерживать низкие температуры. Срок окупаемости солнечной электростанции в Мурманске составляет около 7,2 лет.

Наиболее эффективными для установки солнечных станций являются Краснодар и Санкт-Петербург благодаря высокой инсоляции и более низкой стоимости установки. Однако, солнечные станции также могут быть установлены в Мурманске, но срок окупаемости в этом случае будет дольше.

Приложение 4

Сравнение преобразователей на основе эффективности, стоимости, экологичности и других параметров

Таблица 4. Максимальные значения эффективности фотоэлементов и модулей, достигнутые в лабораторных условиях .

Тип солнечного элемента	Коэффициент фотоэлектрического преобразования, % [10]
Кремниевые солнечные батареи	
Si (кристаллический)	24,7
Si (поликристаллический)	20,3
Si (тонкопленочная передача)	16,6
Si (тонкопленочный субмодуль)	10,4
Солнечные батареи на основе соединения элементов III и V группы (III-V)	
GaAs (кристаллический)	25,1
GaAs (тонкопленочный)	24,5
GaAs (поликристаллический)	18,2
InP (кристаллический)	21,9
Тонкие пленки халькогенидов	
CIGS (фотоэлемент)	19,9
CIGS (субмодуль)	16,6
CdTe (фотоэлемент)	16,5
Солнечные батареи на основе аморфного/ нанокристаллического кремния	
Si (аморфный)	9,5
Si (нанокристаллический)	10,1
Фотохимические солнечные батареи	
На базе органических красителей	10,4

На базе органических красителей (субмодуль)	7,9
Органические солнечные батареи	
Органический полимер	5,15
Многослойные солнечные батареи	
GaInP/GaAs/Ge	32,0
GaInP/GaAs	30,3
GaAs/CIS (тонкопленочный)	25,8
a-Si/mc-Si (тонкий субмодуль)	11,7

Табл 2. КПД основных рыночных солнечных элементов[13].

КПД солнечных элементов	
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%

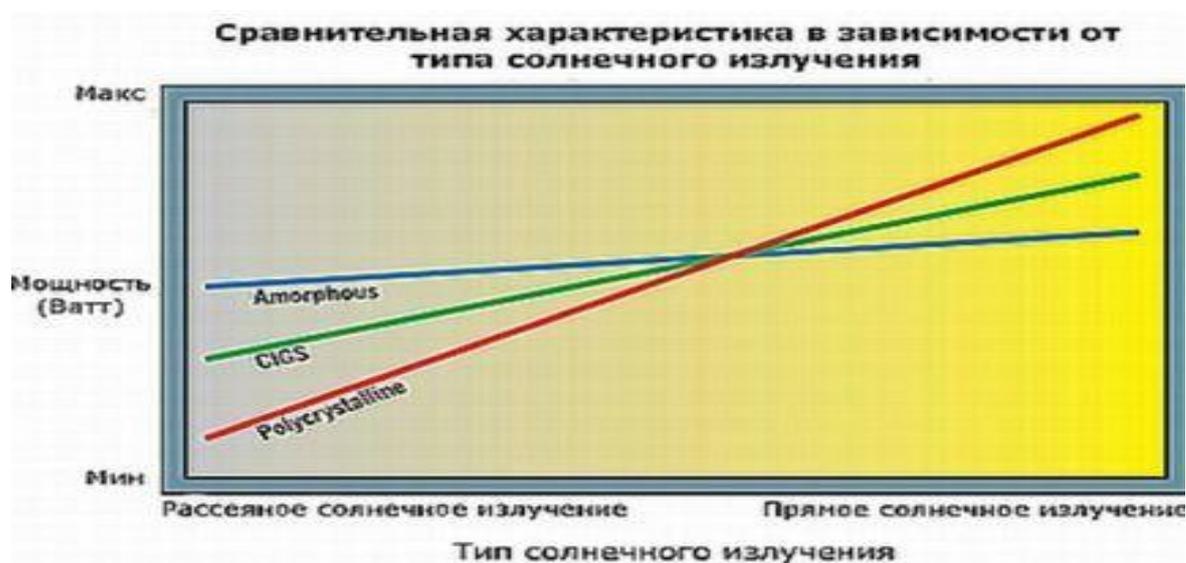


Рисунок 26 - Сравнительная характеристика в зависимости от типа излучения.

Существует несколько типов преобразователей для использования солнечной энергии, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

1. Кристаллические кремниевые солнечные батареи.

Преимущества: обладают высокой эффективностью, могут достигать до 22-23%, просты в использовании. Они имеют длительный срок эксплуатации и не требуют замены на протяжении нескольких десятилетий.

Недостатки: Кристаллические кремниевые солнечные батареи имеют высокую стоимость производства, так как производство кристаллов кремния требует больших затрат. Они могут быть немного более тяжелы и проводят ток только в тонких кремниевых слоях.

2. Солнечные батареи на основе тонкопленочных технологий.

Преимущества: они имеют меньшую стоимость производства по сравнению с кристаллическими кремниевыми солнечными батареями, а также могут быть более тонкими и легкими, что делает их удобными для установки на крышах и других поверхностях. Они могут быть также гибкими и прозрачными.

Недостатки: Эффективность таких солнечных батарей обычно ниже, чем у кристаллических солнечных батарей, около 7-15%. Срок службы у таких батарей может также быть ниже по сравнению с кристаллическими солнечными батареями.

3. Концентрирующие системы солнечного тепла.

Преимущества: такие системы солнечного тепла могут достигать очень высоких температур (от 350 до 1000 градусов), благодаря чему могут использоваться для производства электроэнергии, топлива и водорода, а также

для обогрева помещений и других целей. Они гораздо более экономичны по сравнению с солнечными батареями.

Недостатки: для концентрирующих систем солнечного тепла требуется большая площадь и большое количество зеркал и приемников. Они могут быть менее эффективными в прохладных и холодных климатических условиях и могут вызывать некоторые экологические проблемы, такие как возможность оказания влияния на птиц и летучих мышей.

4. Солнечные фотоэлектрические системы на основе органических или полимерных материалов.

Преимущества: они более экономичны по сравнению с кристаллическими солнечными батареями и могут быть гибкими и прозрачными.

Недостатки: низкая эффективность и короткий срок службы (обычно не более 5 лет), а также химическая непостоянность материалов.

В общем, выбор типа преобразователя для использования солнечной энергии будет зависеть от конкретных условий и целей применения. Кристаллические солнечные батареи обычно используются для коммерческих и промышленных проектов, в то время как тонкопленочные технологии и органические материалы могут быть предпочтительнее для использования в домашнем хозяйстве. Концентрированные солнечные системы тепла, в свою очередь, имеют особенное применение в промышленных и научных проектах.

Важно также учитывать климатические условия региона, где будет установлен солнечный преобразователь. Если в регионе мало солнечной энергии, то концентрирующие системы солнечного тепла, которые могут использоваться для производства электроэнергии и других целей, могут быть менее эффективными.

Еще одним важным фактором является цель использования солнечной энергии. Если солнечная энергия будет использоваться для обогрева помещений или горячей воды, то солнечные коллекторы для тепловой энергии могут быть предпочтительнее. Если же целью является производство

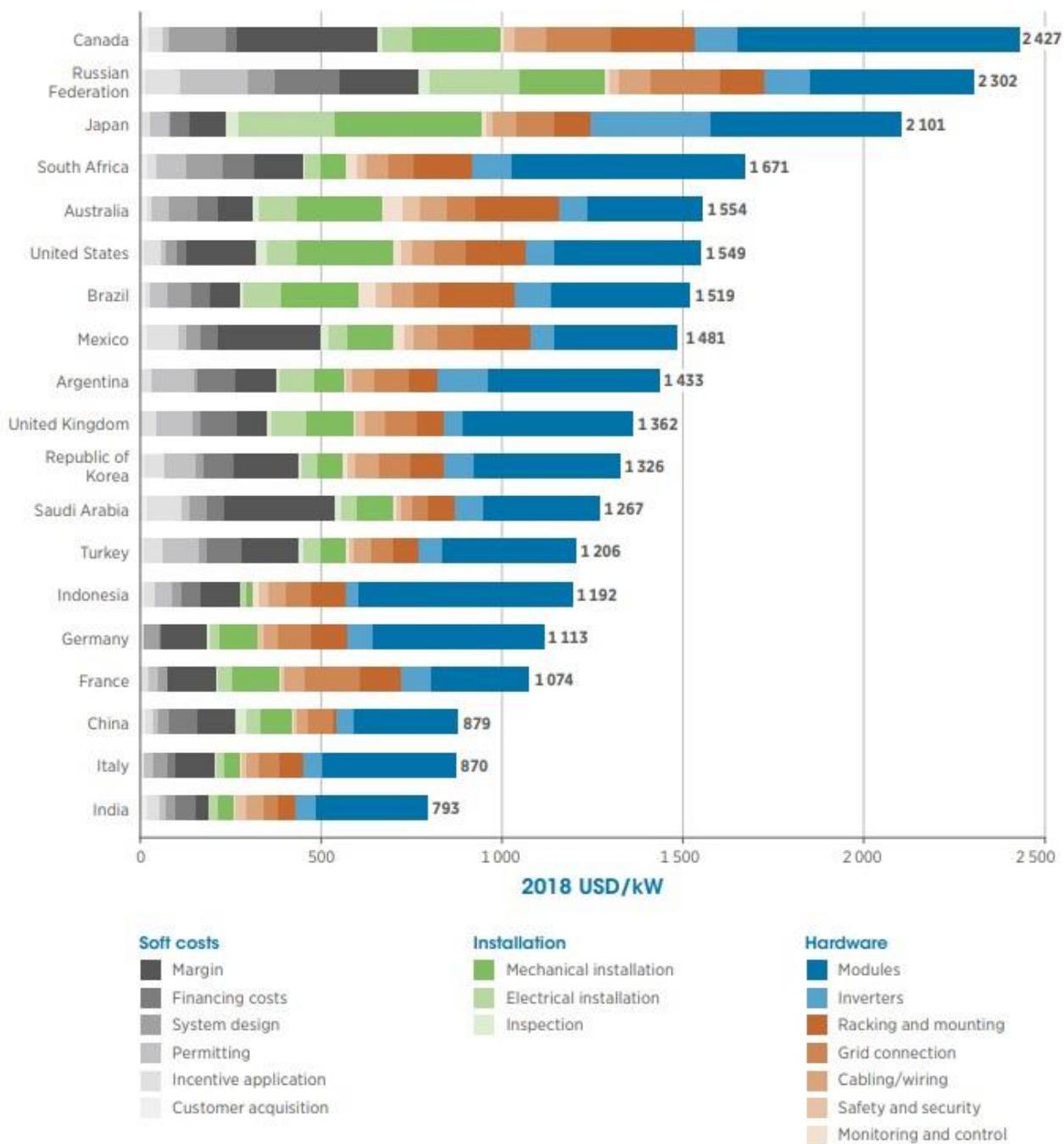
электроэнергии, то солнечные батареи могут быть более эффективными вариантами.

Наконец, стоит учесть стоимость и доступность того или иного преобразователя. Кристаллические солнечные батареи могут быть достаточно дорогими, но перспективы снижения их стоимости в ближайшее время обещают быть обнадеживающими. Органические и полимерные солнечные батареи могут быть более доступными в ценовом плане, но их срок службы может быть ниже, что требует регулярной замены.

Вообще, использование солнечной энергии является экологически безопасным и экономически выгодным решением, и выбор типа преобразователя будет зависеть от конкретных условий использования.

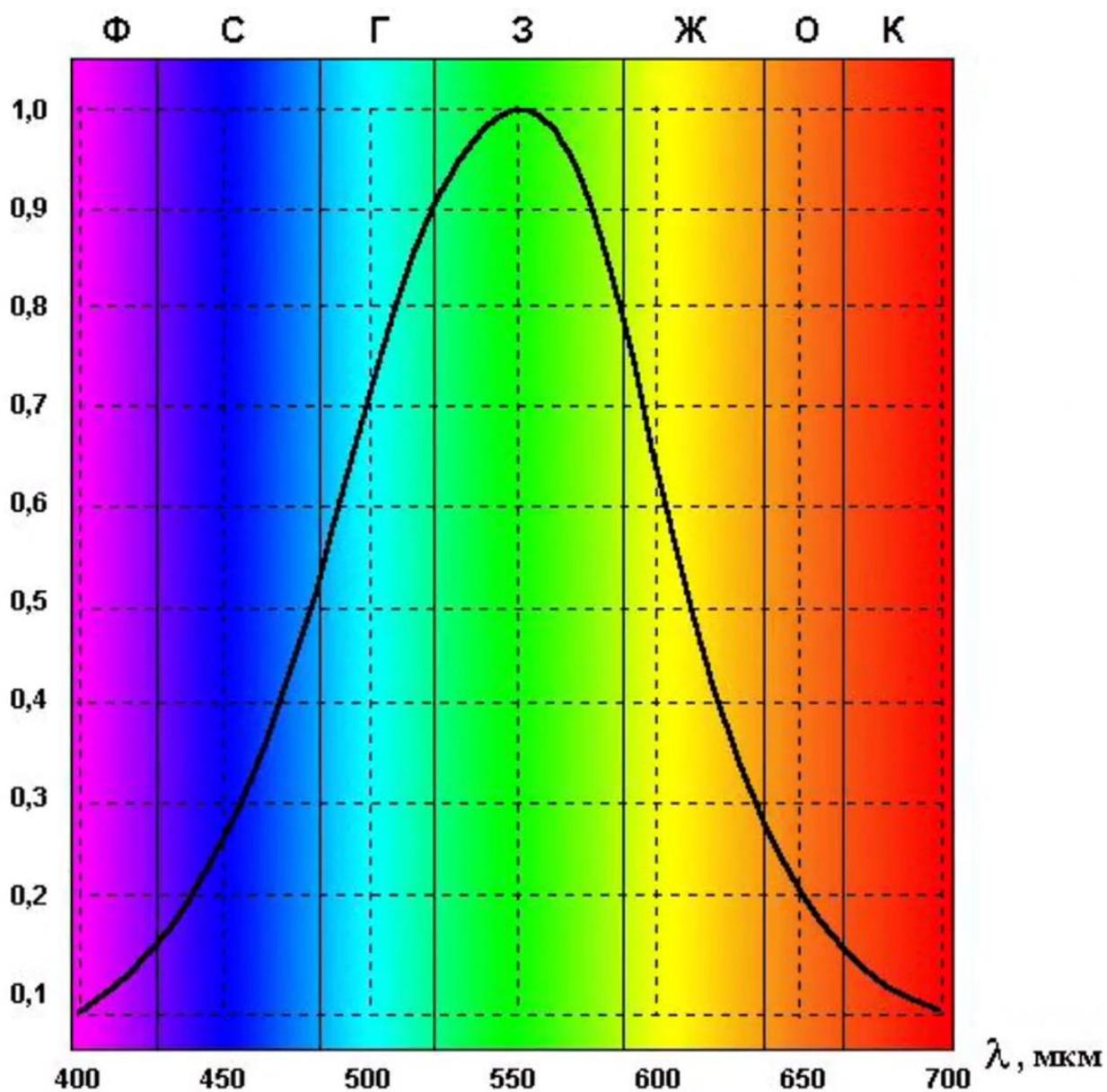
Приложение 5

Рисунок 52 - график показывает из чего складывается стоимость «солнечного киловатта» в разных странах.



Приложение 6

Рисунок 53 - Зависимость ЭДС от интенсивности падающего света.



Зависимость ЭДС от интенсивности падающего света.

Приложение 7

Законы фотоэффекта находятся в резком противоречии с классическими представлениями о волновой природе света. В рамках волновых представлений о свете качественно фотоэффект может быть объяснен следующим образом. Электрический вектор электромагнитной волны ускоряет электроны в материале катода. Благодаря этому электроны в металле начинают «раскачиваться», амплитуда их вынужденных колебаний возрастает. При достижении достаточно большой энергии электрон покидает катод, т. е. происходит внешний фотоэффект. Однако объяснить количественные закономерности фотоэффекта оказалось невозможно. Амплитуда вынужденных колебаний электрона в волновой картине излучения пропорциональна амплитуде колебаний вектора напряженности электрического поля падающей на катод электромагнитной волны. Плотность светового потока энергии прямо пропорциональна квадрату амплитуды колебаний напряженности электрического поля волны. Следовательно, максимальная скорость покидающих катод фотоэлектронов должна увеличиваться с возрастанием плотности светового потока энергии. В действительности же скорость фотоэлектронов не зависит от нее. Не согласуется также с волновыми представлениями очень малое время запаздывания в фотоэффекте. Время запаздывания, которое дают расчеты, оказывается во много раз большим экспериментальной верхней оценки времени запаздывания. Наличие граничной частоты. Фотоэффекта также несовместимо с волновыми представлениями.

Приложение 8

Использования фотоэффекта

Фотоэффект «превращает» свет в электрический ток, благодаря чему изображение можно преобразовывать в электрические сигналы и передавать на расстояние. Это используется в телевидении.

Фотоэффект используется также при создании фотоэлементов - приборов, с помощью которых можно управлять включением и выключением механизмов, уличного освещения и др. Например, фотоэлементы стоят в турникетах метро и предотвращают несчастные случаи на производстве (когда рука рабочего оказывается в опасной зоне, она перекрывает луч света, попадающий на фотоэлемент, вследствие чего останавливается станок или другой механизм).

Фотоэлементы используются при считывании информации (изображения, звука или данных) с оптических дисков (компакт-дисков), которые являются сегодня одной из наиболее распространенных форм записи и хранения информации (рис. 8).



Рисунок 10 - На одном оптическом диске помещается библиотека.

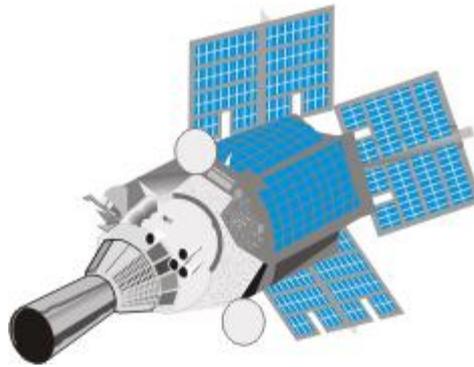


Рисунок 12 - Солнечные батареи на космическом корабле.

На оптическом диске информация записана на спиральной дорожке в виде крошечных углублений. При вращении диска в компьютере или лазерном проигрывателе по дорожке скользит лазерный луч, и изменения интенсивности отраженного луча распознаются фотоэлементом, который превращает их в электрические сигналы. Применение оптических дисков совершило революцию в мире информации: на одном диске помещается целая библиотека.

Поскольку с помощью фотоэлементов световая энергия преобразуется в электрическую, их применяют в солнечных батареях для получения электроэнергии. Такие батареи используют в жарких местностях, а также на космических кораблях (рис 12.).

Приложение 9

Преобразование солнечной энергии

Преобразование солнечной энергии в электрическую энергию может осуществляться следующими способами:

- Фотовольтаические (солнечные) панели - это наиболее распространенный и простой способ получения электроэнергии из солнечной энергии. Они состоят из кремниевых ячеек, которые преобразуют энергию солнечного света в электрический ток. Фотовольтаические панели могут быть установлены на крышах домов или коммерческих зданий, на автомобильных стоянках, на полях, на небольших островах и даже в космосе. Они просты в использовании, не требуют труда по техническому обслуживанию, имеют длительный срок службы, экологически чисты и эффективны в использовании.

- Термосолнечные системы используют панели, которые преобразуют солнечную энергию в тепловую, которая затем передается жидкому носителю и используется для подогрева воды или привода турбин. Такие системы могут быть применены для обогрева домов, частной аквакультуры или бассейнов.

- Концентрирующие системы используют зеркала или линзы для сосредоточения энергии солнечного света на малой площади, чтобы создать очень высокую температуру, которая может использоваться для производства пара и запуска турбин, чтобы получать электрическую энергию. Одной из наиболее распространенных концентрирующих систем является парогенерирующая система солнечной турбины.

- Гибридные системы комбинируют различные виды электроэнергии, например, солнечную и ветровую, с целью увеличения эффективности и стабильности производства электроэнергии.

- Фототермальные системы используют солнечное излучение для нагрева воды или циркуляции рабочей жидкости, чтобы привести в движение турбину, производящую электрическую энергию.

- Термоэлектрические генераторы используют преобразование разности температур для генерации небольшого, но стабильного количества электрической энергии с помощью солнечной энергии.

- Фотокаталитические системы используют солнечную энергию для разложения определенных веществ на их составные элементы, производя при этом электрическую энергию.

Вместе с тем, преобразование солнечной энергии в электрическую также может быть осложнено вопросами хранения и дистрибуции энергии. Для того чтобы использовать энергию солнечных панелей в темное время суток, может использоваться аккумуляторная батарея для хранения избыточной электроэнергии. Однако для масштабных, централизованных солнечных электростанций могут быть необходимы специальные сети электропередачи и системы хранения энергии для эффективной дистрибуции энергии на длительные расстояния.

Преобразование солнечной энергии в электрическую энергию представляет собой широкий спектр технологий, включая фотовольтаические, термосолнечные, концентрирующие, гибридные системы и другие методы. Эти технологии могут быть адаптированы к разным условиям и масштабам, и они могут играть ключевую роль в обеспечении чистой, устойчивой энергии для общества в будущем.

Приложение 10

Основные материалы из которых состоят солнечные батареи

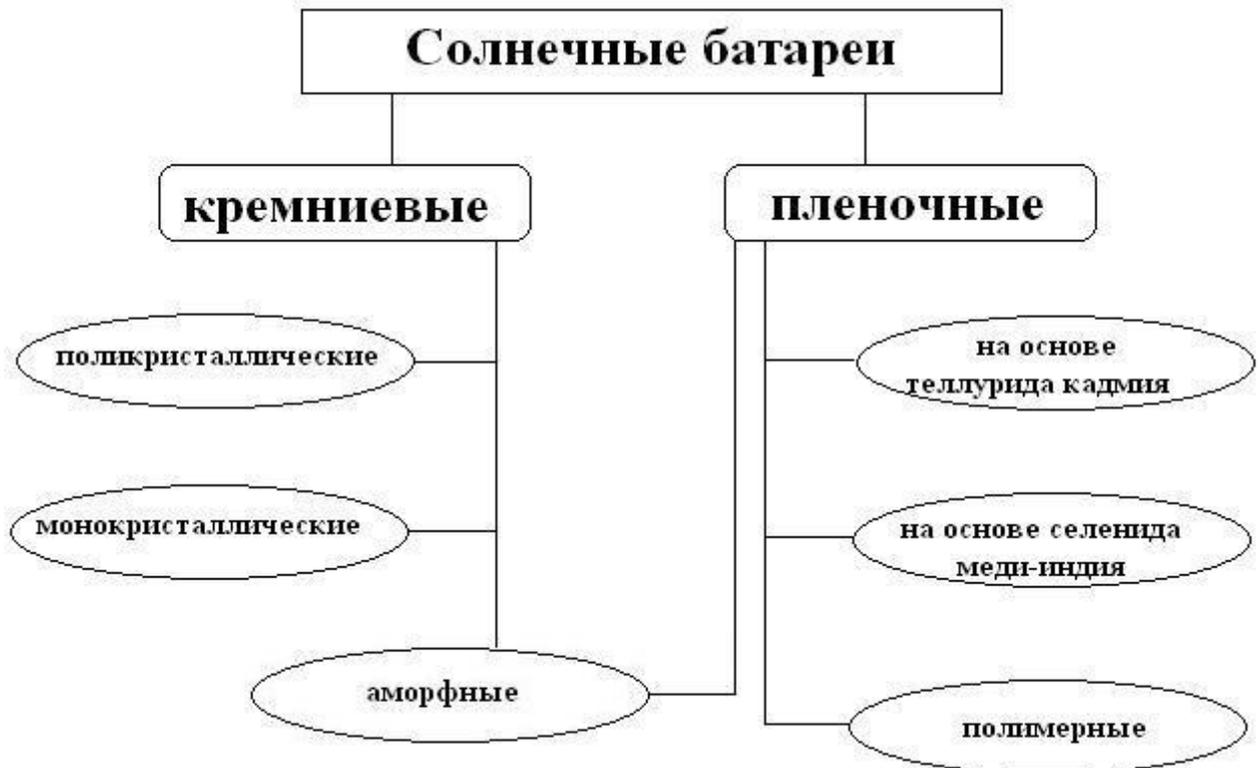


Рисунок 21 - Схема структуризации солнечных панелей[13]

1. Состав батарей первого поколения

Модули, используемые в солнечных батареях, обычно содержат несколько элементов, таких как металлический лист-основа, нижний кремниевый полупроводник с преобладанием электронов n-типа, верхний кристаллический слой с насыщением электронами p-типа, антиотражающее покрытие, тонкий металлизированный контакт сеточного типа с проводом для замыкания сети, толстое защитное стекло и обрамляющую раму для защиты от внешних воздействий. Толщина монокристаллических Mono-Si или поликристаллических Poli-Si кремниевых пластин в ячейках составляет около 200-300 мкм, а срок службы оценивается в 20-25 лет при падении производительности на 0,5% каждый год. КПД модулей достигает 22-24% при

идеальных условиях освещения, но резко снижается при высоких температурах или падении освещенности[16].

2. Состав батарей второго поколения

Следующая батарейка использует те же физические принципы p/n перехода и имеет тот же физический принцип p/n перехода, но создана на основе комбинаций редкоземельных элементов (реже – аморфного кремния). Наружные компоненты панели обычно такие же, как металлическая основа, антиотражающая пленка и защитное стекло. Поэтому сегодня все больше появляется безрамных конструкций и тонкопленочных вариантов, способных сворачиваться в рулоны и изгибаться под любым углом.

Наиболее распространенными полупроводниками для ячеек таких батарей являются аморфный кремний $a-Si$, теллурид кадмия ($CdTe$) и селенид индия/галлия/меди ($CIGS$). Иногда могут использоваться более экзотические варианты, но их совокупная доля не превышает 0,1% и используется преимущественно в лабораторных исследованиях.

Тонкопленочные батареи получили свое название благодаря гораздо меньшей толщине рабочих слоев, которые составляют от 1 до 3 мкм. Это почти в 100 раз меньше, чем у кремниевых батарей. КПД тонкопленочных батарей при идеальных условиях составляет 16-20%, но в условиях рассеянного света и/или больших углов падения излучения батареи $CdTe/CIGS$ могут оказаться более эффективными.

3. Состав батарей третьего поколения

Принцип работы панелей третьего поколения все еще основан на фотоэлектрическом эффекте, но их конструкция существенно отличается от предыдущих поколений. В отличие от полупроводниковых материалов, используемых в более ранних моделях, батареи нового поколения, за исключением квантовых точек, используют органические и полимерные материалы. Такие панели часто не имеют рамы и защитного стекла, а

производятся при помощи 3D-принтеров или методом травления, аналогично компьютерным платам. Главным преимуществом таких батарей является невероятно низкая стоимость производства, возможность формирования различной геометрии и прозрачности. Благодаря этому они могут быть интегрированы в дома, окна, одежду и даже мелкие бытовые предметы. Главный недостаток панелей третьего поколения на сегодняшний день - низкий КПД, который составляет от 0,1 до 7%. При производстве современных фотоэлектрических ячеек основными полупроводниковыми материалами являются монокристаллический и поликристаллический кремний. Они создаются с помощью профессора Чохральского или направленной кристаллизации в металлургических тиглях. Для создания домашней солнечной батареи можно приобрести фотоэлектрические элементы в магазине или изготовить их самостоятельно из подручных материалов. Моно-Si обычно устанавливают на южные скаты крыш, а на юго-западные и юго-восточные - поликристаллический кремний[16].

3. Из чего сделаны тонкопленочные солнечные батареи CdTe

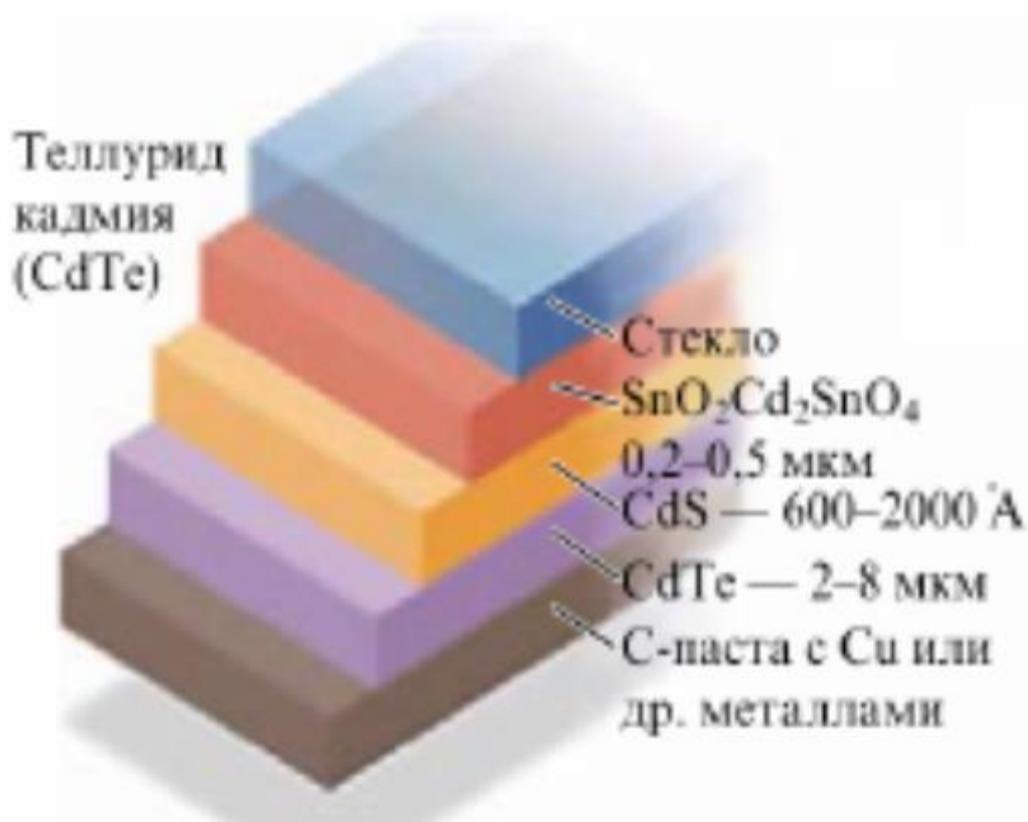


Рисунок 22- Типичная структура солнечных элементов на основе CdTe.

Теллурид кадмия - материал, который считается лучшим полупроводниковым материалом благодаря его поглощающей способности, высокой надежности и низкой стоимости. В сравнении с кремнием, CdTe более производительный и гораздо дешевле более эффективных, но более дорогих пленок на основе германия и индия. Подложка пленки может быть изготовлена не только из металла, но и из стекла, а самые ячейки могут быть как полужесткими, так и гибкими. Кроме того, CdTe отличается стабильностью, долговечностью, обладает малой чувствительностью к изменению уровня освещения и обещает быстрорастущий КПД в новых поколениях солнечных модулей.

5. Особенность строения солнечных панелей типа CIGS

Батареи на основе сульфидов редкоземельных элементов содержат композитное смешение галлия, индия и меди. Эти панели являются наиболее эффективными и прочными на рынке, но также являются дорогим способом получения энергии. Пока они находятся в коммерческом использовании только в космической и авиационной отраслях, так как запасы галлия и индия очень ограничены на Земле. Всего на планете добывают несколько сотен тонн индия и галлия в год. Если бы все они использовались для создания батарейных панелей, общая мощность панелей, вероятно, не превысила бы 10 ГВт.

6. Из чего состоят солнечные батареи типов GaAs и InP

Арсенид галлия (GaAs) и фосфид индия (InP) являются базовыми редкоземельными элементами группы панелей с высоким КПД. Они обладают удивительным свойством - практически не теряют эффективность при высоких температурах в несколько сотен градусов Цельсия. Хотя применение их на земле не выгодно, почти все солнечные панели спутников, зондов, МКС и телескопов изготовлены на основе этих материалов. Теоретически эффективность этой группы панелей может достигать до 85%, если в их конструкции использовать дополнительные концентраторы. В настоящее время практический КПД колеблется в диапазоне от 35% до 45% [16].

7. Из чего делают органические солнечные батареи

Хотя КПД панелей органической основы третьего поколения остается невысоким (лабораторный рекорд на сегодняшний день достигает 10,8%, а коммерческие прототипы - до 7%), они все еще активно исследуются. Для полимеров органического происхождения характерны следующие важные особенности: простота и дешевизна производства, возможность использования в различных областях, прозрачность материала и легкость утилизации. Подобные панели являются практически невесомыми, и при использовании технологии "tandem solar batteries" их можно интегрировать в окна и регулировать прозрачность.

8. Из чего состоят солнечные батареи на красителях

Батареи имеют конструкцию, в которой используется тонкая стеклянная подложка и напыляемая токопроводящая "краска". В качестве основы краски используются нанокристаллические "катод" и "анод", а также неагрессивный электролит, например, диоксид титана. Одним из основных преимуществ использования таких батарей является возможность создания любых цветовых оттенков и нанесения на любую поверхность сверхтонким слоем. Благодаря этому, такие батареи могут использоваться на фасадах зданий, автомобилях и в других областях, не ограничиваясь только применением на крышах или в отдельных неудобных местах. Однако, такие батареи все еще находятся на стадии исследований и не могут предоставлять ту эффективность, которую имеют монокристаллические кремниевые батареи на сегодняшний день[16].

9. Особенности солнечных батарей с квантовыми точками

Такие батареи, построенные на свойствах физических квантовых точек, имеют размеры в несколько нанометров и распределяются в материале таким образом, что охватывают поглощение излучения всего солнечного спектра – ИК, видимого света и УФ. Они представляют собой последний перспективный вид батарей ближайшего будущего. Одним из главных преимуществ таких панелей является возможность работы даже ночью, генерируя около 40%

максимальной дневной мощности. Это возможно благодаря тому, что квантовые точки имеют свойства, позволяющие им генерировать энергию при воздействии даже на очень слабый источник света. В будущем, такие батареи могут стать ключевым элементом в развитии солнечной энергетики, обеспечивая еще большую эффективность и экономичность[16].

Приложение 11

Сравнение преимуществ использования солнечной энергии и традиционных источников энергии по экологическим аспектам в приложении

Использование солнечной энергии имеет ряд экологических преимуществ по сравнению с традиционными источниками энергии, такими как нефть, газ и уголь. Ниже приведены основные преимущества использования солнечной энергии:

- **Снижение выбросов парниковых газов.** Уголь, нефть и газ - это топливные источники, которые требуют больших количеств энергии для добычи, переработки и транспортировки. При этом происходят выбросы парниковых газов, которые являются основной причиной изменения климата. Солнечная энергия не требует никаких таких процессов, и поэтому не является источником выбросов парниковых газов.

- **Уменьшение воздействия на природу.** Инфраструктура для добычи, транспортировки и использования традиционных источников энергии может негативно влиять на окружающую среду. Например, газопроводы и нефтепроводы могут привести к размыву почвы и загрязнению водных ресурсов. Использование солнечной энергии не требует таких инфраструктурных изменений окружающей среды.

- **Ресурсосбережение.** Традиционные источники энергии являются необратимыми ресурсами, которые требуют значительных усилий на их добычу и переработку. В отличие от этого солнечная энергия является

бесплатным ресурсом, и ее использование не требует затрат ресурсов или труда для производства.

- Увеличение независимости. Использование солнечных батарей может сделать человека более независимым от крупных энергетических компаний и государственных регулирующих органов. Это позволяет иметь больше контроля над собственным потреблением энергии и снижать потери, которые могут возникать на сложных транспортных цепочках.

- Снижение затрат. Солнечная энергия существенно дешевле, чем многие традиционные источники энергии. Кроме того, снижение затрат на производство и использование солнечных батарей приводит к возможности экономии денежных средств для домохозяйств и бизнеса в целом.

Хотя использование солнечной энергии имеет много экологических преимуществ, оно также имеет ограничения. В частности, солнечная энергия не может быть произведена во всех местах и во все времена года. Однако, учитывая все преимущества, можно сделать вывод, что использование солнечной энергии - положительный шаг в направлении более устойчивой и экологически чистой продуктивности.

Кроме того, использование солнечной энергии также может способствовать более широкой социальной справедливости, поскольку доступ к более чистым и дешевым источникам энергии может увеличить доступность энергетических ресурсов для людей, живущих в отдаленных районах или бедных сообществах.

Одним из главных препятствий для распространения солнечной энергии является высокая стоимость установки солнечных панелей. Однако, с ростом технологических возможностей и регулирующих мер, таких как налоговые льготы и субсидии, стоимость солнечных батарей снижается, что делает эту технологию более доступной.

В целом, использование солнечной энергии является ключевым фактором для создания устойчивой жизни в будущем. Солнечная энергия представляет

собой экологически чистый, доступный ресурс, который может помочь уменьшить потребление традиционных источников энергии, снизить выбросы парниковых газов и улучшить качество жизни людей по всему миру.

Кроме того, использование солнечной энергии может также помочь уменьшить зависимость от импортированных нефтепродуктов и снизить затраты на транспортировку энергосырья. Также использование солнечной энергии может создавать рабочие места в сферах производства, установки и обслуживания солнечных энергосистем.

Все больше правительств и компаний по всему миру признают важность использования солнечной энергии в качестве части стратегии борьбы с изменением климата и перехода к более устойчивой энергетической системе. В некоторых странах, таких как Германия и Китай, правительства осуществляют значительные инвестиции в разработку и установку солнечных систем.

Тем не менее, использование солнечной энергии все еще имеет большие перспективы как экологически чистый, надежный и доступный источник энергии. Развитие солнечных технологий и ценовая конкуренция в будущем приведет к еще более широкому распространению систем солнечной энергии, что в свою очередь сильно сократит выбросы углекислого газа и поможет сохранить нашу планету для будущих поколений.

Оценка воздействия на окружающую среду при производстве и эксплуатации солнечных преобразователей

Оценка воздействия на окружающую среду при производстве солнечных батарей может варьироваться в зависимости от многих факторов, таких как масштаб производства, используемые технологии и процессы, используемое оборудование и т. д. Однако, некоторые исследования указывают на то, что производство солнечных батарей может иметь следующие воздействия на окружающую среду:

- **Использование энергии.** Производство солнечных батарей потребляет значительное количество энергии, которая может быть произведена с использованием ископаемых топлив, что ведет к выбросу вредных веществ и ускоряет глобальное потепление.

- **Использование воды.** Процесс производства солнечных батарей требует большого количества воды, что может привести к дефициту водных ресурсов в регионах, где уже есть проблемы с доступностью чистой воды.

- **Использование ресурсов.** Производство солнечных батарей требует использования определенных материалов, таких как кремний, которые могут быть ограничены и/или дорогими в производстве.

- **Выбросы воздуха.** Некоторые процессы производства солнечных батарей могут привести к выбросу вредных веществ в атмосферу, таких как азотокислота, сероводород, фториды и др. Однако, современные технологии минимизируют выбросы и большинство производителей солнечных батарей соблюдают жесткие стандарты экологической безопасности.

- **Использование земельных ресурсов.** Установка солнечных батарей может занимать значительное количество пространства на земле, что может потребовать использования земельных ресурсов и изменения экосистемы в этой области.

- Местный эффект нагревания. Установка больших массивов солнечных батарей может повысить температуру в этой области из-за поглощения солнечной радиации, что может повлиять на некоторые животные и растения.

- Выбросы воздуха. Эксплуатация солнечных батарей не может приводить к выбросу вредных веществ в атмосферу, но на некоторых этапах производства солнечных батарей могут быть выбросы вредных веществ, которые могут негативно воздействовать на окружающую среду.

- Обработка отработанных батарей. Как и любые другие батареи, солнечные батареи хранят энергию в химической форме и, когда они выходят из строя, они должны быть утилизированы или переработаны, что может вызывать затраты на обработку и обработку отходов.

- Снижение загрязнения окружающей среды. Однако, использование солнечных батарей помогает снизить загрязнение воздуха и почвы, так как во время их эксплуатации не происходит выброса вредных веществ.

Многие производители уделяют большое внимание сокращению воздействия на окружающую среду при производстве солнечных батарей, используя новые технологии и методы:

- Использование возобновляемой энергии. Многие производители солнечных батарей переключаются на использование возобновляемой энергии для производства, такой как ветряная или гидроэлектростанции. Это снижает углеродный след производства и уменьшает влияние на окружающую среду.

- Экологически безопасные материалы. Многие производители используют экологически безопасные материалы при производстве своих солнечных батарей, такие как стеклопластик, алюминий и медь, которые могут быть переработаны после окончания срока использования.

- Утилизация и переработка. Многие производители солнечных батарей предусматривают возможность утилизации и переработки своих продуктов после окончания их срока службы, что снижает воздействие на окружающую среду.

- Оптимизация производственных процессов. Многие производители улучшают свои технологии и процессы производства, чтобы сократить потребление энергии, воды и материалов, а также снизить выбросы вредных веществ.

Хотя производство солнечных батарей может иметь воздействие на окружающую среду, использование солнечной энергии по-прежнему является более устойчивым и экологически безопасным способом производства энергии по сравнению с использованием ископаемых источников энергии.

Однако, следует отметить, что даже с учетом вышеуказанных воздействий на окружающую среду, использование солнечных батарей по-прежнему считается одним из самых устойчивых и экологически безопасных способов производства энергии.

Химические вещества, переработка и утилизация солнечных батарей

Одной из главных проблем является переработка и утилизация солнечных панелей, и на данный момент нет надежных решений на будущее. Вопреки распространенному мнению, этот процесс не так опасен и не распространен как некоторые думают. Обычно кремниевые пластины стандартных солнечных модулей инкапсулируются этилвинилацетатом (EVA), который защищает пластины. Возможно, что при неправильной утилизации и определенных испытаниях, материалы могут выделяться, но при нормальных условиях эксплуатации этого не происходит. Солнечная энергия очень эффективно сокращает выбросы углерода, однако, как и в случае со всей технологией, возникает проблема неожиданных отходов или побочных продуктов. Идея переработки солнечных панелей и продажи их в виде базовых элементов кажется здоровой, но на данный момент это путь не является экономически и масштабируемым.

Пути вперед

Заводы по переработке солнечных панелей не так распространены, как мы хотели бы, однако, это ожидаемо для новой отрасли и технологии.

Переработчики электронных отходов появились только недавно, после многих десятилетий использования потребительской электроники. Дополнительные отрасли всегда нуждаются во времени для развития. Чтобы облегчить вторичную переработку, у производителей солнечных панелей могла бы быть введена плата, либо установлены обязательные программы вторичной переработки. Развитие обоих вариантов потребует времени. Экономика переработки солнечных панелей улучшится по мере увеличения количества снятых с эксплуатации панелей. Большие объемы производства позволяют достигать эффекту масштаба. Для устранения проблем с химикатами, используемыми в солнечных батареях, можно найти альтернативные методы производства модулей. Это решение в настоящее время находится в стадии реализации. Не существует идеального источника топлива, так как все имеют свои экологические преимущества и недостатки. Однако, некоторые могут быть более выгодными, чем другие.

Заводы по переработке солнечных панелей не так распространены, как мы хотели бы, однако, это ожидаемо для новой отрасли и технологии. Переработчики электронных отходов появились только недавно, после многих десятилетий использования потребительской электроники. Дополнительные отрасли всегда нуждаются во времени для развития. Чтобы облегчить вторичную переработку, у производителей солнечных панелей могла бы быть введена плата, либо установлены обязательные программы вторичной переработки. Развитие обоих вариантов потребует времени. Экономика переработки солнечных панелей улучшится по мере увеличения количества снятых с эксплуатации панелей. Большие объемы производства позволяют достигать эффекту масштаба. Для устранения проблем с химикатами, используемыми в солнечных батареях, можно найти альтернативные методы производства модулей. Это решение в настоящее время находится в стадии реализации. Не существует идеального источника топлива, так как все имеют свои экологические преимущества и недостатки. Однако, некоторые могут быть более выгодными, чем другие.

Влияние производства солнечных панелей на окружающую среду

Для производства солнечных батарей необходимо добывать сырье – главным образом, это кварц, который перерабатывается в кремний. Кроме того, алюминий, медь и серебро являются необходимыми материалами, которые могут быть добыты или получены из переработанных источников. Особенно это актуально за последние 10 лет, когда произошло чрезвычайное расширение фотоэлектрической отрасли. После добычи сырья кварц перерабатывается в кремний электронного качества. Этот процесс включает нагревание кварца в высокотемпературной печи и его реакцию с различными химическими веществами. Другие производственные процессы необходимы для формирования экструдированного алюминиевого каркаса и прокатки закаленного стекла. Как правило, производство чего-либо требует значительного количества энергии.

Для создания солнечных панелей необходимо значительное количество энергии, что приводит к высоким выбросам в окружающую среду. Однако, после установки, солнечные панели могут производить энергию без выбросов на протяжении более 25 лет. При оценке процесса производства солнечных панелей необходимо рассматривать весь период их эксплуатации и сравнить его с другими источниками топлива, чтобы понять их около экологический эффект.

Интенсивность выбросов углерода из солнечных панелей и других видов топлива

Интенсивность выбросов - это количество выбросов углерода, совершаемых в течение всего срока службы, выраженное в граммах эквивалента диоксида углерода на киловатт-час ($\text{gCO}_2\text{e} / \text{kWh}$) или суммах в тоннах эквивалента углекислого газа на мегаватт-час ($\text{tCO}_2 / \text{MWh}$). Чем ниже интенсивность выбросов, тем менее вредное воздействие на окружающую среду, так как для выработки такого же количества энергии будет выделено меньше CO_2 . Чтобы оценить углеродный след солнечной энергии, проведено множество исследований за последние десятилетия, которые охватывают все

этапы добычи, эксплуатации и переработки энергии из различных источников топлива, таких как солнечные фотоэлектрические, солнечные тепловые, ветровые, ядерные, природный газ и уголь. В 2014 году Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии (NREL), Министерства энергетики США, проанализировала 400 исследований о жизненном цикле выбросов солнечной энергии, учитывая разницу в данных, выбросы и другие переменные факторы, которые могут повлиять на результаты. Данные были согласованы с помощью набора допущений для целей сравнения. Исследование показало, что для производства солнечных панелей требуется 60-70% энергии на начальном этапе, около 25% во время эксплуатации и от 5% до 20% после их продуктивного срока. С другой стороны, уголь генерирует около 98% выбросов во время процесса эксплуатации (например, добычи, транспортировки, сжигания), а всего 1% в процессах добычи и переработки.

Исследования показали, что сегодня солнечные панели на почти 50% эффективнее, чем при проведении исследования. При использовании методов производства энергии на основе ископаемого топлива, было выявлено, что они производят больше CO₂, чем возобновляемые источники на каждый киловатт-час. Различия между видами топлива не были сразу заметны, но со временем становятся более заметными.

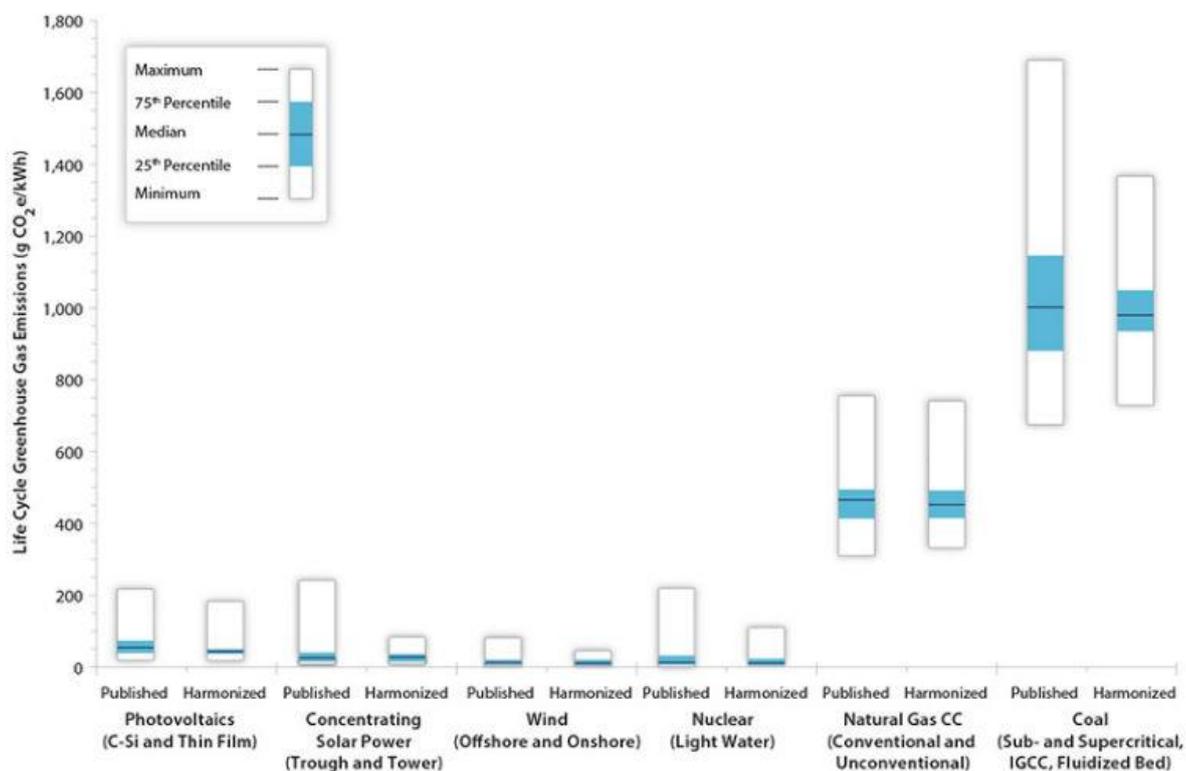


Рисунок 35 - График выбросов углекислого газа в зависимости от сырья

Солнечные фотоэлектрические системы имеют интенсивность выбросов около 40 г CO₂/кВтч в течение всего их жизненного цикла. В то же время, энергия, производимая в течение жизненного цикла угля, вызывает выбросы около 1 000 г CO₂/кВтч. Уголь производит 25 раз больше углекислого газа, чем солнечная энергия, чтобы произвести такое же количество энергии.

Одно из предостережений против использования возобновляемых источников энергии заключалось в том, что эффективность кремниевых солнечных панелей в гармонизации NREL колебалась от 13,2% до 14,0%. Однако это исследование проводилось до 2014 года, а сегодня поликристаллические солнечные модули регулярно достигают КПД более 19,5%. Современные солнечные панели более чем на 50% более эффективны, чем ранее. Это позволяет производить больше кВтч чистой энергии по тому же производственному циклу, что снижает интенсивность выбросов от солнечных фотоэлектрических систем. Худший случай для солнечных фотоэлектрических систем все еще лучше, чем лучший случай для угля в три раза. Средние и согласованные значения дадут более точную картину интенсивности выбросов различных видов топлива с учетом статистических

показателей, таких как гармонизированное значение, учитывающее высокий уровень солнечного излучения в 1700 кВтч/м², соответствующий уровням в Альберте и Саскачеване.

Интенсивность выбросов - это очень важный показатель, который нужно учитывать при оценке воздействия солнечной энергии на природу. Согласно исследованиям, солнечные панели влияют на окружающую среду в меньшей степени, чем другие источники топлива, как это было подтверждено мета-анализом, проведенным NREL. Кроме того,

Брукхейвенская национальная лаборатория, исследовательский центр окружающей среды PV и исследования энергетической политики также провели дополнительный анализ данной темы.

Срок окупаемости монокристаллических солнечных батарей составляет всего 2 года. Еще одно важное предостережение, которое следует отметить, заключается в том, что значение основано на предполагаемой эффективности солнечной панели в 14%. Сегодня солнечные панели на 40-50% эффективнее. Имея это в виду, разумно предположить, что солнечные панели имеют приблизительный период окупаемости энергии от 1 до 2 лет.

Электроэнергетика. Источники топлива. Воздействие на окружающую среду

Различные экологические преимущества солнечной энергии зависят от того, какой источник энергии заменяется. Как показывает ранее приведенная диаграмма, использование солнечной энергии вместо электроэнергии, производимой на угольных электростанциях, является наиболее выгодным. Если же установить солнечные панели для замены гидро- или ветровой электроэнергии из сети, то это будет менее эффективным. Есть и другие причины для установки солнечных панелей, даже если ваша сеть использует возобновляемые источники энергии (например, снижение нагрузки на сеть и снижение стоимости электроэнергии на протяжении всего срока эксплуатации панелей), однако они не будут подробно рассмотрены в данной работе.

Приложение 13

Использование технологии обратного перевода (back contact)

Технология обратного перевода (back contact) используется в солнечных батареях для увеличения эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую. Традиционные солнечные батареи имеют электроды на лицевой стороне, через которые происходит сбор энергии. Однако, такая конструкция может привести к потерям энергии из-за отражения и поглощения света в материалах батареи.

Основная суть использования технологии обратного контакта (back contact) для солнечной батареи заключается в том, чтобы расположить электроды на обратной стороне батареи, т.е. на той, которая не освещается. Это достигается путем установки всех электрических контактов с задней стороны поглощающего слоя, что позволяет увеличить коэффициент пропускания света и эффективность солнечной батареи в целом благодаря снижению количества затененной поверхности. Кроме того, батарея с обратным контактом обеспечивает более надежное и стабильное соединение электродов, что повышает ее надежность и долговечность.

Технология обратного перевода решает эту проблему, размещая электроды на обратной стороне батареи. Таким образом, свет проходит через материал батареи и поглощается на более длинной дистанции, что увеличивает эффективность сбора энергии. Более того, такая конструкция позволяет использовать тонкие слои материала, что уменьшает затраты на производство и увеличивает гибкость в использовании.

Для создания солнечной батареи с обратным контактом используют тонкие слои с полупроводниковыми материалами, которые размещаются на поверхности поглощающего слоя и образуют электрические контакты. Таким образом, электрический ток от потребителя течет через область активного слоя батареи, что позволяет получить более высокую эффективность сбора

электрической энергии, ибо значительно снижается количество затененной поверхности, а увеличивается коэффициент пропускания света.

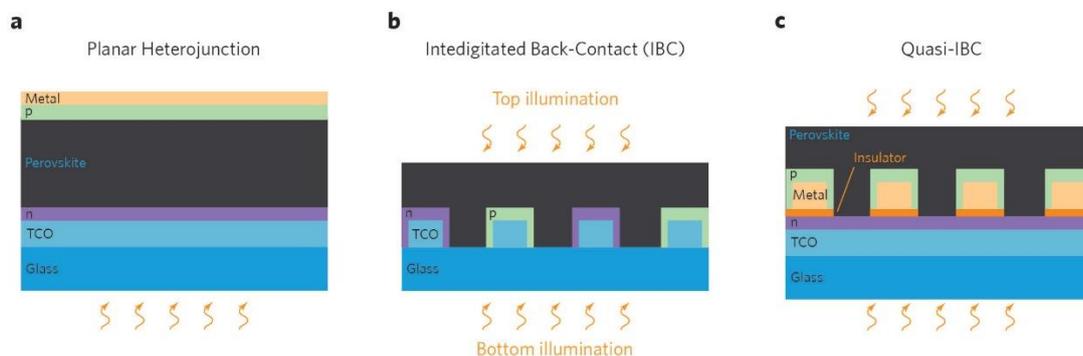


Рисунок 33 - Иллюстрация трех архитектур солнечных элементов из перовскита. а, архитектура планарного гетероперехода p-i-n. n- и p-слои можно менять местами, чтобы получить "перевернутую" архитектуру или архитектуру ni-p. б, архитектуру с взаимозаменяемым обратным контактом (IBC). с, архитектуру с квазипересекающимся обратным контактом.

В структуре IBC электроды, селективные к электронам и дырочкам, расположены на обратной стороне элемента взаимозаменяемым образом. Солнечный элемент IBC создается путем нанесения активного слоя на электроды со взаимными контактами. Благодаря такой архитектуре можно избежать потерь при оптической передаче, вызванных верхним контактом, благодаря возможности подсветки солнечного элемента со стороны слоя поглощения (верхняя подсветка).[102] Поскольку прозрачность электродов не требуется, можно использовать широкий спектр электродных материалов без ущерба для проводимости (потерь на сопротивление).[102] Кроме того, такие архитектуры предлагают возможность поддерживать схему соединения на задней стороне элементов на одной общей поверхности, облегчая процессы сборки модулей солнечных элементов.

Различные типы солнечных элементов заднего контакта

IBC или взаимозаменяемые элементы заднего контакта - это одна из конфигураций солнечных элементов заднего контакта. Задние контактные солнечные элементы потенциально могут обеспечить более высокую эффективность за счет перемещения всех передних контактных решеток – или их части - в заднюю часть устройства. Потенциально более высокая эффективность обусловлена уменьшением затенения передней части ячейки и особенно полезна в элементах с высоким током, таких как концентраторы.

Взаимозаменяемые солнечные элементы с обратным контактом (IBC)

Солнечные элементы с задним контактом обладают способностью предотвращать все потери на затенение, размещая оба контакта на задней панели элемента. Пары электронных дырок, генерируемые светом, который поглощается передней поверхностью элемента, все еще могут быть собраны в задней части элемента с помощью тонкого солнечного элемента, изготовленного из высококачественного материала. Такие ячейки особенно полезны в концентраторах, где эффект последовательного сопротивления ячеек намного выше. Дополнительным преимуществом этих ячеек является то, что ячейки с обоими контактами на задней панели легче соединяются между собой и могут располагаться ближе друг к другу в модуле, поскольку нет необходимости в каком-либо пространстве между ячейками.

Технология обратного контакта обеспечивает более равномерный сбор энергии по всей поверхности активного слоя, что уменьшает риск механических повреждений и соответственно повышает надежность и долговечность батареи. Кроме того, обратный контакт позволяет уменьшить потери электроэнергии на контактные сопротивления, что также увеличивает общую эффективность сбора энергии.

Среди основных преимуществ можно выделить следующие:

- Лучшая эффективность: благодаря конструкции, где электроды располагаются на обратной стороне батареи, уменьшается количество затененной поверхности и увеличивается коэффициент пропускания света. Это позволяет солнечной батарее захватывать больше света, что увеличивает ее эффективность.

- Более долгий срок эксплуатации: конструкция с обратным контактом обеспечивает специальную защиту для поглощающего слоя, что значительно увеличивает срок эксплуатации солнечной батареи.

- Улучшенная надежность: использование обратного контакта обеспечивает более надежное и стабильное соединение электродов, что снижает вероятность их разрушения в результате воздействия механических нагрузок на батарею.

- Уменьшение затрат на производство: использование технологии обратного контакта позволяет уменьшить количество материалов, требуемых для производства солнечной батареи, и сделать производственный процесс более эффективным.

- Универсальность: технология обратного контакта может использоваться для создания различных типов солнечных батарей. Она подходит для использования в крупных солнечных панелях, так и для производства маленьких батарей для зарядки мобильных устройств

Несмотря на ряд преимуществ, метод обратного контакта для солнечных батарей имеет и некоторые недостатки:

- Высокая стоимость: из-за сложности производства и дополнительных материалов, которые необходимы для реализации обратного контакта, стоимость батарей с обратным контактом может быть выше, чем у других типов солнечных батарей.

- Длительное время производства: изготовление солнечной батареи с обратным контактом требует более длительного и сложного процесса производства, поэтому она может иметь более длительный срок производства, что увеличивает затраты на производство.

- Небольшая эффективность в низком освещении: поскольку батарея с обратным контактом имеет заднюю сторону, выделяющую тепло, на определенном уровне низкого освещения ее эффективность может снижаться.

- Затруднения с охлаждением: из-за того, что солнечная батарея с обратным контактом имеет источник выделения тепла сзади, может быть затруднено эффективное охлаждение. Это может приводить к сокращению срока службы батареи.

- Усиленная чувствительности к повреждениям: из-за более тонких слоев материалов, используемых для создания электродов, их может быть легче повредить при ударах или обработке, что может повлечь за собой снижение эффективности солнечной батареи.

- Ограниченное применение в некоторых областях: из-за вышеупомянутых факторов, метод обратного контакта для солнечных батарей может иметь ограничения в некоторых областях применения, особенно для устройств, работающих в условиях высоких температур или на условиях низкого освещения..

Для того чтобы реализовать технологию обратного контакта в солнечных батареях, необходимо использовать специальные материалы и технологии производства. Одним из таких материалов является кремний, который является основным материалом для производства солнечных батарей. Однако, для реализации обратного контакта в кремниевых батареях требуется использование более сложных технологий производства.

Другим материалом, который может использоваться для производства солнечных батарей с обратным контактом, является перовскит. Этот материал обладает высокой эффективностью преобразования солнечной энергии и

может быть использован в тонких слоях, что уменьшает затраты на производство.

Эта технология также может быть применена в солнечных батареях на органических материалах. Органические материалы имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными материалами, такими как низкая стоимость, гибкость и возможность использования в различных формах. Однако, для использования обратного контакта в органических солнечных батареях также требуется использование более сложных технологий производства.

Технология обратного контакта является перспективной и многообещающей в области солнечной энергетики. Ее использование позволяет увеличить эффективность солнечных батарей и снизить затраты на производство, что может привести к более широкому распространению солнечной энергетики в будущем. Однако, для того чтобы реализовать эту технологию на практике, требуется дальнейшее исследование и разработка новых материалов и технологий производства.

Приложение 14

Использование технологии двойного гетероструктурного солнечного элемента (double heterostructure solar cell)

Двойной гетероструктурный солнечный элемент (DHSE) - это технология создания солнечных элементов на основе полупроводниковых материалов, которая позволяет повысить КПД солнечных батарей. DHSE состоит из трех слоев: нижнего контактного слоя, среднего активного слоя и верхнего контактного слоя. Активный слой состоит из двух различных полупроводниковых материалов, которые обладают разной электронной структурой и потенциалом.

Технология двойного гетероструктурного солнечного элемента (double heterojunction solar cell) заключается в использовании двух слоев различных материалов в структуре солнечной батареи. Внутри батареи формируется ступенчатый переход (гетероструктура) между этими двумя слоями, который улучшает сбор света и уменьшает потери энергии.

Составляющие структуры двойного гетероперехода могут быть разными – обычно это кристаллы индиевого галлия (InGaP), ингалиевого арсенида (InGaAs) и германия (Ge). Эти материалы обладают разными электрическими свойствами, а также имеют различную оптическую прозрачность в отношении световой энергии. Когда свет падает на батарею, энергия фотона переходит из высокопрозрачного InGaP в более темный поглощающий слой InGaAs, где энергия поглощается и выполняется удар ионов, с которых затем извлекается энергия.

Одна из главных причин, по которой DHSE может повысить КПД солнечных батарей, заключается в том, что она может увеличить количество солнечной энергии, которая может быть преобразована в электрическую энергию. DHSE использует два полупроводника с разным потенциалом, что

позволяет увеличить напряжение и электрический ток, которые генерируются при поглощении солнечной энергии.

Кроме того, DHSE может быть использована для создания многослойных солнечных батарей, которые могут иметь более высокий КПД, чем обычные солнечные батареи. Многослойные солнечные батареи используют несколько DHSE, которые могут преобразовывать различные длины волн солнечного света, что позволяет более эффективно использовать солнечную энергию.

Другой преимуществ DHSE является то, что она может использоваться для создания тонких и гибких солнечных батарей. Тонкие и гибкие солнечные батареи могут быть использованы в различных приложениях, таких как портативные электронные устройства, одежда, автомобили и т.д. DHSE может быть произведена на тонких и гибких подложках, таких как полимеры, что позволяет создавать гибкие и легкие солнечные батареи, которые можно легко интегрировать в различные устройства и системы.

Ещё DHSE может использоваться для создания более эффективных солнечных концентраторов. Солнечные концентраторы используют линзы или зеркала для фокусировки солнечного света на маленький участок солнечной батареи, что увеличивает КПД. DHSE может быть использована в солнечных концентраторах, чтобы увеличить эффективность фокусировки солнечного света на активный слой солнечной батареи.

Однако, как и любая другая технология, DHSE имеет свои ограничения. Одним из основных ограничений является сложность и дороговизна ее производства. DHSE требует специальных процессов и оборудования для производства, что делает ее дорогой и не очень доступной технологией. Кроме того, DHSE имеет проблемы с устойчивостью и долговечностью, особенно в условиях высокой температуры и влажности.

Тем не менее, DHSE продолжает развиваться и улучшаться, и она может стать одним из ключевых элементов в развитии солнечной энергетики. DHSE

имеет большой потенциал для повышения КПД солнечных батарей и создания более эффективных и экономически выгодных солнечных устройств.

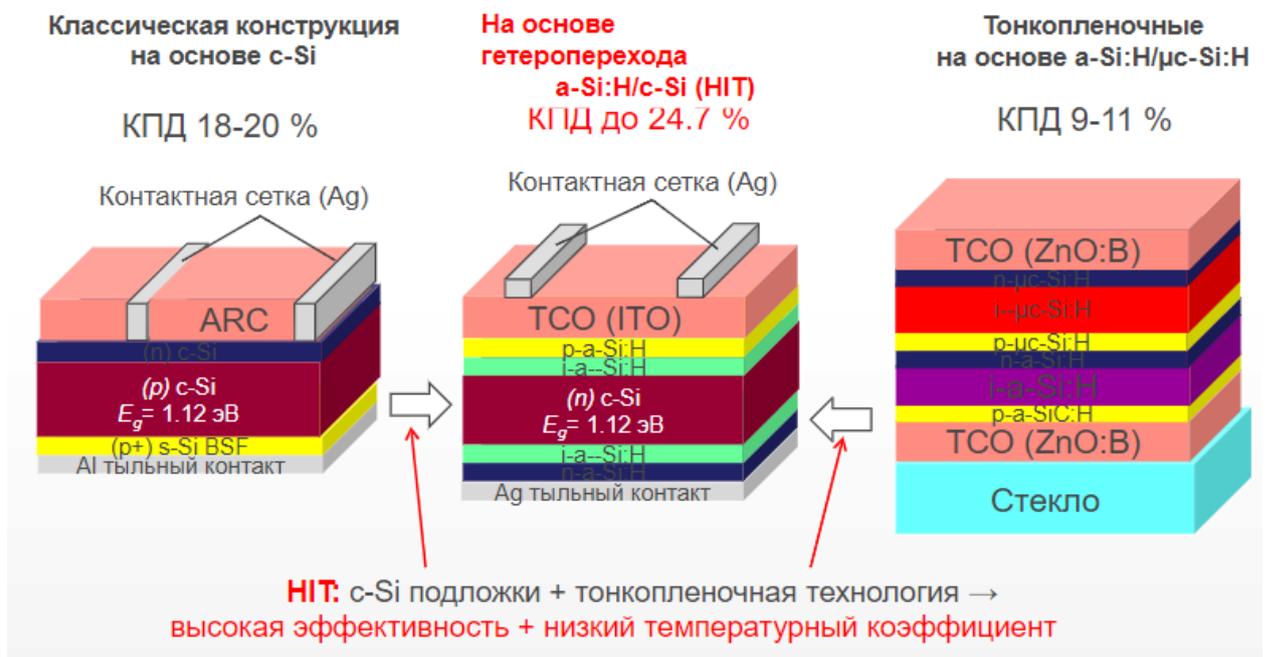


Рисунок 34 - Сравнение и структура a-Si, c-Si И HIT СОЛНЕЧНЫХ ЯЧЕЕК

DHSE может использоваться в сочетании с другими технологиями, такими как перовскитные солнечные батареи. Перовскитные солнечные батареи имеют высокий КПД, но они имеют проблемы с устойчивостью и долговечностью. Использование DHSE в перовскитных солнечных батареях может помочь решить эти проблемы и создать более эффективные и стабильные солнечные батареи.

Данная технология использоваться для создания интегрированных солнечных устройств, которые могут быть использованы в различных приложениях, таких как электроника, автомобильная промышленность, здания и многое другое. Интегрированные солнечные устройства могут быть более эффективными и экономически выгодными, чем обычные солнечные батареи, поскольку они могут интегрироваться в различные устройства и системы.

В целом, DHSE является важной технологией для развития солнечной энергетики и других областей энергетики. Она имеет большой потенциал для повышения КПД солнечных батарей, создания более эффективных солнечных устройств и интеграции с другими технологиями. Однако, чтобы достичь своего полного потенциала, DHSE требует дальнейших исследований и разработок, чтобы решить проблемы устойчивости, долговечности и стабильности.

Приложение 15

Использование технологии кремниевых нанопроводов

Технология кремниевых нанопроводов - это метод создания микроскопических нитей из кремния, которые могут использоваться для увеличения КПД солнечных батарей. Кремниевые нанопроводы имеют диаметр менее 100 нанометров и длину несколько микрометров. Они создаются при помощи специальных технологий, включая литографию и электрохимическое осаждение.

Кремниевые нанопроводы имеют диаметр всего несколько десятков нм, что позволяет им обладать высокой поверхностной площадью для сбора света, что в свою очередь является преимуществом перед традиционными солнечными батареями из плоских кремниевых слоев. Кроме того, внутри нанопроводов может формироваться гетероструктура из различных материалов, что дает возможность улучшить характеристики солнечной батареи.

Одна из основных причин, по которой кремниевые нанопроводы могут повысить КПД солнечных батарей, заключается в том, что они могут увеличить площадь поверхности, которая контактирует с солнечным светом. Большая поверхность повышает вероятность захвата фотонов и их преобразования в электрический ток. Кроме того, кремниевые нанопроводы могут увеличить эффективность транспортировки электронов, что уменьшает потери энергии и повышает КПД.

Благодаря таким свойствам технология кремниевых нанопроводов позволяет создавать солнечные батареи с высокой эффективностью, лучшими показателями мощности на квадратный метр, чем солнечные батареи на основе плоского кремния. Однако, технология кремниевых нанопроводов все еще находится в стадии исследований и разработок, и ее коммерческая реализация может быть дорогостоящей и затруднительной.

Одним из способов использования кремниевых нанопроводов в солнечных батареях является создание так называемых "радужных батарей". В этом случае кремниевые нанопроводы располагаются вертикально на поверхности солнечной батареи, что позволяет собирать солнечную энергию в разных частях спектра. Таким образом, радужные батареи могут обеспечивать более широкий спектр преобразования солнечной энергии и иметь более высокий КПД.

Еще одним способом использования кремниевых нанопроводов в солнечных батареях является создание нанопроводных сеток. В этом случае кремниевые нанопроводы создаются в виде сетки, которая покрывает поверхность солнечной батареи. Нанопроводы в сетке могут быть ориентированы вертикально или горизонтально, в зависимости от того, какой способ более эффективен для преобразования солнечной энергии.

Преимуществом использования кремниевых нанопроводов в солнечных батареях является их способность работать в условиях низкой освещенности. Обычные солнечные батареи имеют ограничения в работе при низком уровне освещенности, но кремниевые нанопроводы могут преобразовывать даже слабый свет в электрическую энергию.

Однако, как и любая другая технология, кремниевые нанопроводы имеют свои ограничения. Одним из основных ограничений является сложность и дороговизна их производства. Также кремниевые нанопроводы могут иметь проблемы с устойчивостью и долговечностью в условиях высокой температуры и влажности.

Одним из способов использования кремниевых нанопроводов в солнечных батареях является создание так называемых "радужных батарей". В этом случае кремниевые нанопроводы располагаются вертикально на поверхности солнечной батареи, что позволяет собирать солнечную энергию в разных частях спектра. Таким образом, радужные батареи могут

обеспечивать более широкий спектр преобразования солнечной энергии и иметь более высокий КПД.

Еще одним способом использования кремниевых нанопроводов в солнечных батареях является создание нанопроводных сеток. В этом случае кремниевые нанопроводы создаются в виде сетки, которая покрывает поверхность солнечной батареи. Нанопроводы в сетке могут быть ориентированы вертикально или горизонтально, в зависимости от того, какой способ более эффективен для преобразования солнечной энергии.

Кроме того, кремниевые нанопроводы могут использоваться не только в солнечных батареях, но и в других областях энергетики. Например, они могут быть использованы для создания более эффективных термоэлектрических генераторов, которые преобразуют тепловую энергию в электрическую. Также могут быть использованы в сочетании с другими технологиями, такими как перовскитные солнечные батареи. Перовскитные солнечные батареи имеют высокий КПД, но они имеют проблемы с устойчивостью и долговечностью. Использование кремниевых нанопроводов в перовскитных солнечных батареях может помочь решить эти проблемы и создать более эффективные и стабильные солнечные батареи.

Кремниевые нанопроводы также могут быть использованы для создания нанoeлектронных устройств и наносенсоров.

В целом, кремниевые нанопроводы представляют собой важную технологию для развития солнечной энергетики и других областей энергетики. Они имеют потенциал для увеличения КПД солнечных батарей и других устройств, а также для создания новых типов энергетических устройств. Однако, как и любая другая технология, они требуют дальнейших исследований и разработок для достижения своего полного потенциала

Приложение 16

Виды солнечных батарей

Существует несколько видов солнечных батарей, которые отличаются по своей конструкции и принципу работы.

Кристаллические солнечные батареи



Рисунок 23 - Монокристаллическая и поликристаллическая

Кристаллические солнечные батареи (КСБ) – это солнечные батареи, которые используют кристаллические полупроводники, такие как кремний, для преобразования солнечной энергии в электрическую. КСБ являются одними из наиболее распространенных типов солнечных батарей и широко используются в различных приложениях.

Принцип работы

Кристаллические солнечные батареи работают на основе принципа фотоэлектрического эффекта. Когда свет попадает на поверхность кристаллического полупроводника, например, на кремниевый полупроводник, он вызывает эффект фотоэлектрического перехода, при котором электроны в материале высвобождаются и могут быть использованы для генерации электрической энергии.

Кристаллические солнечные батареи состоят из кристаллических полупроводниковых слоев, которые содержат примеси, такие как бор и

фосфор, чтобы создать различные типы полупроводников с разными свойствами. Кристаллические полупроводники имеют кристаллическую структуру, которая позволяет электронам свободно двигаться по материалу, что увеличивает эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую энергию.

Как устроены

Кристаллические солнечные батареи состоят из нескольких основных элементов:

1. Кристаллические полупроводниковые слои

Кристаллические полупроводниковые слои – это основные элементы кристаллических солнечных батарей. Обычно используются кремниевые полупроводники, которые имеют высокую эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую энергию. Кристаллические полупроводники содержат примеси, такие как бор и фосфор, чтобы создать различные типы полупроводников с разными свойствами.

2. Электроды

Электроды – это металлические контакты, которые используются для сбора и транспортировки электрической энергии. Обычно используются металлы, такие как алюминий, медь или серебро. Электроды располагаются на верхней и нижней поверхностях кристаллических полупроводниковых слоев.

3. Защитный слой

Защитный слой – это слой, который наносится на верхний электрод для защиты кристаллической солнечной батареи от внешних воздействий, таких как пыль, влага или механические повреждения.

4. Антирефлективный слой

Антирефлективный слой – это слой, который наносится на верхнюю поверхность кристаллической солнечной батареи для снижения отражения

света и увеличения эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую энергию.

5. Контактные пады

Контактные пады – это металлические контакты, которые используются для подключения кристаллической солнечной батареи к электрической системе. Обычно они находятся на краях батареи.

Алгоритм работы основан на принципе фотоэлектрического эффекта и состоит из нескольких основных элементов, включая кристаллические полупроводниковые слои, электроды, защитный слой, антирефлективный слой и контактные пады. Кристаллические полупроводники содержат примеси, такие как бор и фосфор, чтобы создать различные типы полупроводников с разными свойствами. Кристаллические солнечные батареи являются одними из наиболее распространенных типов солнечных батарей и широко используются в различных приложениях благодаря своей высокой эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую энергию.

Кристаллические солнечные батареи являются наиболее распространенным типом солнечных батарей. Они состоят из кремниевых кристаллов, которые обладают положительным и отрицательным зарядом. Когда солнечный свет падает на кристаллы, он вызывает выделение электронов, которые перемещаются в сторону положительно заряженных кристаллов, создавая электрический ток.

Кристаллические солнечные батареи могут быть изготовлены из разных материалов, включая монокристаллический кремний, поликристаллический кремний и аморфный кремний. Монокристаллические солнечные батареи обладают наивысшей эффективностью, но они также являются самыми дорогими. Поликристаллические солнечные батареи менее эффективны, но они также более доступны по цене. Аморфные солнечные батареи наименее эффективны, но они также наиболее дешевые.

В таблице 1 приведены основные различия между моно и поли солнечными элементами.

Таблице 1 - Основные 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

Тонкие пленочные солнечные батареи

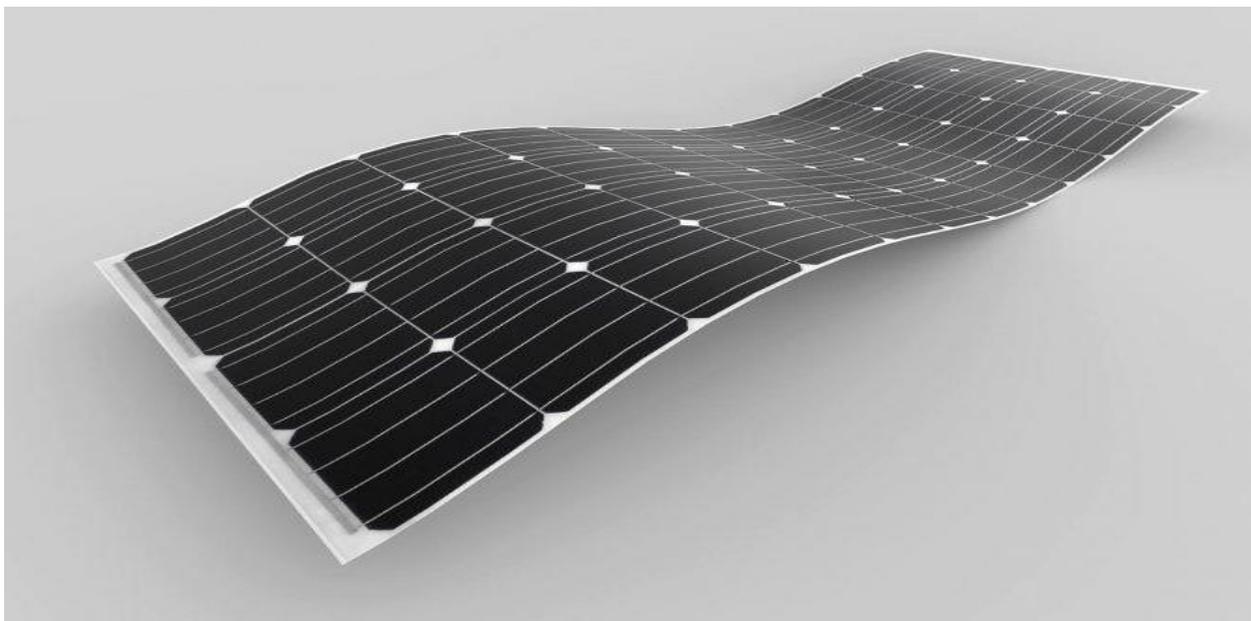


Рисунок 24- Тонко пленочная солнечная батарея

Тонкие пленочные солнечные батареи (ТПСБ) – это солнечные батареи, которые состоят из тонких слоев полупроводниковых материалов, нанесенных на стеклянную или пластиковую подложку. Они являются одними из наиболее перспективных типов солнечных батарей благодаря своей эффективности, гибкости и легкости. В этом тексте мы рассмотрим принцип работы и устройство тонких пленочных солнечных батарей.

Принцип работы

Тонкие пленочные солнечные батареи (ТПСБ) работают на основе принципа фотоэлектрического эффекта. Когда свет попадает на поверхность полупроводникового материала, например, на кремниевый полупроводник, он вызывает эффект фотоэлектрического перехода, при котором электроны в материале высвобождаются и могут быть использованы для генерации электрической энергии.

Тонкие пленочные солнечные батареи используют тонкие слои полупроводниковых материалов, которые наносятся на стеклянную или пластиковую подложку. Это позволяет создавать очень тонкие батареи, которые могут быть гибкими и легкими.

Как устроены

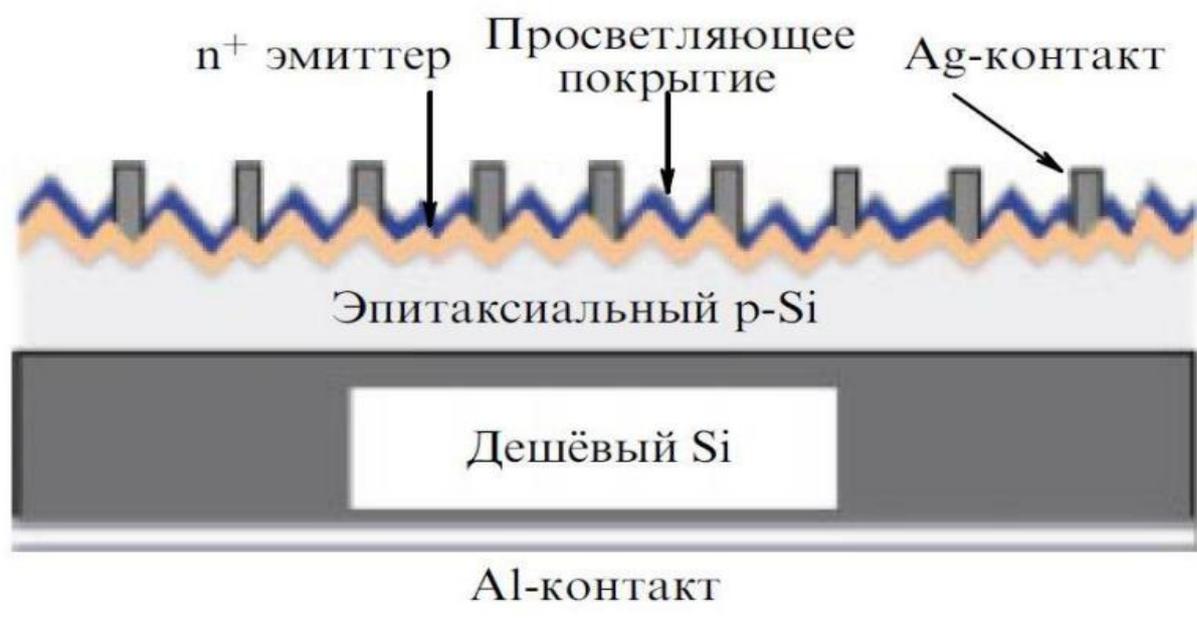


Рисунок 25 - Структура ТПСБ

Тонкие пленочные солнечные батареи состоят из нескольких основных элементов:

1. Подложка

Подложка – это материал, на который наносятся тонкие слои полупроводниковых материалов. Обычно используются стекло или пластик, которые могут быть различной формы и размера в зависимости от конструкции ТПСБ.

2. Тонкие слои полупроводниковых материалов

Тонкие слои полупроводниковых материалов – это тонкие слои материалов, которые наносятся на подложку. Обычно используются кремниевые или кадмиевые теллуридные полупроводники, которые имеют высокую эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую энергию.

3. Электроды

Электроды – это металлические слои, которые наносятся на тонкие слои полупроводниковых материалов для сбора и транспортировки электрической энергии. Обычно используются металлы, такие как алюминий, медь или серебро.

4. Защитный слой

Защитный слой – это слой, который наносится на верхний электрод для защиты ТПСБ от внешних воздействий, таких как пыль, влага или механические повреждения.

5. Антирефлективный слой

Антирефлективный слой – это слой, который наносится на верхнюю поверхность ТПСБ для снижения отражения света и увеличения эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую энергию.

6. Контактные пады

Контактные пады – это металлические контакты, которые используются для подключения ТПСБ к электрической системе. Обычно они находятся на краях батареи.

Итак, тонкие пленочные солнечные батареи являются одними из наиболее перспективных типов солнечных батарей благодаря своей эффективности, гибкости и легкости. Они работают на основе принципа фотоэлектрического эффекта и состоят из нескольких основных элементов, включая подложку, тонкие слои полупроводниковых материалов, электроды, защитный слой, антирефлективный слой и контактные пады. Несмотря на высокую стоимость и сложность производства, ТПСБ все еще являются перспективной технологией, которая может заменить традиционные источники энергии в некоторых приложениях.

Концентрированные солнечные батареи

Концентрированные солнечные батареи (КСБ) – это системы, которые используют оптические элементы для сбора и концентрации солнечной энергии на маленькую площадь при помощи зеркал, линз и других оптических устройств. Это позволяет получать энергию в несколько раз больше, чем в традиционных солнечных батареях, что делает их одними из наиболее эффективных и перспективных источников возобновляемой энергии. В этом тексте мы рассмотрим принцип работы и устройство концентрированных солнечных батарей.

Принцип работы

Концентрированные солнечные батареи работают на основе принципа фотоэлектрического эффекта. Когда свет попадает на поверхность материала, например, на кремниевый полупроводник, он вызывает эффект фотоэлектрического перехода, при котором электроны в материале высвобождаются и могут быть использованы для генерации электрической энергии.

В КСБ используются оптические элементы, такие как зеркала и линзы, для сбора и концентрации солнечного света на маленькую площадь, где находится фотоэлектрический элемент. Это позволяет получать гораздо большую мощность, чем в традиционных солнечных батареях.

Как устроены

Концентрированные солнечные батареи состоят из нескольких основных элементов:

1. Оптические элементы. Оптические элементы, такие как зеркала и линзы, используются для сбора и концентрации солнечного света на маленькую площадь. Они могут быть различных размеров и форм, и их расположение может меняться в зависимости от конструкции КСБ.

2. Фокусирующая система . Фокусирующая система – это оптическая система, которая используется для сбора и фокусировки солнечного света на маленькую площадь, где находится фотоэлектрический элемент. Эта система может быть составлена из нескольких оптических элементов, таких как линзы и зеркала, которые могут быть настроены для максимальной эффективности.

3. Фотоэлектрический элемент. Фотоэлектрический элемент – это основной элемент КСБ, который преобразует солнечную энергию в электрическую энергию. Обычно используются кремниевые полупроводники, которые могут быть различной формы и размера в зависимости от конструкции КСБ.

4. Охлаждающая система. Охлаждающая система – это система, которая используется для охлаждения фотоэлектрического элемента и предотвращения перегрева. Это может быть воздушная система или жидкостная система, которая циркулирует через фотоэлектрический элемент для его охлаждения.

5. Электрическая система. Электрическая система – это система, которая используется для сбора и транспортировки электрической энергии, которая генерируется фотоэлектрическим элементом. Она может состоять из различных элементов, таких как провода, реле и трансформаторы, которые обеспечивают эффективную передачу энергии в сеть.

Концентрированные солнечные батареи являются одними из наиболее эффективных и перспективных источников возобновляемой энергии. Они работают на основе принципа фотоэлектрического эффекта и состоят из нескольких основных элементов, включая оптические элементы, фокусирующую систему, фотоэлектрический элемент, охлаждающую систему и электрическую систему. Несмотря на высокую стоимость и сложность производства, КСБ все еще являются перспективной технологией, которая может заменить традиционные источники энергии в некоторых приложениях.

Солнечные фотоэлектрические системы на основе органических или полимерных материалов

Солнечные фотоэлектрические системы на основе органических или полимерных материалов стали одними из наиболее перспективных технологий в области энергетики. Они имеют множество преимуществ перед традиционными солнечными батареями на основе кремния, таких как легкость, гибкость и возможность производства на больших площадях. В этом тексте мы рассмотрим принцип работы и устройство солнечных фотоэлектрических систем на основе органических или полимерных материалов.

Принцип работы

Солнечные фотоэлектрические системы на основе органических или полимерных материалов основаны на принципе фотоэлектрического эффекта. Этот эффект заключается в том, что при попадании света на поверхность материала происходит выделение электронов, которые могут быть использованы для производства электрической энергии.

Как устроены

Органические или полимерные солнечные батареи состоят из нескольких слоев, каждый из которых выполняет свою функцию. Рассмотрим устройство солнечной батареи на примере полимерного соединения пиррола-тиопрена (РЗНТ).

1. Слой электродов

Первый слой – это электроды, которые являются контактными точками с внешней средой. Эти электроды могут быть изготовлены из различных материалов, таких как золото, серебро или алюминий.

2. Слой активного материала

Следующий слой – это слой активного материала, который содержит полимерное соединение пиррола-тиопрена (РЗНТ) в сочетании с другим

материалом, таким как фуллерен. Этот слой является основным элементом, который преобразует солнечную энергию в электрическую энергию.

3. Слой электронного переноса

Следующий слой – это слой электронного переноса, который переносит электроны из слоя активного материала на электроды. Этот слой обычно состоит из материала, такого как оксид титана (TiO_2), который имеет высокую электропроводность и способствует эффективному переносу электронов.

4. Слой легкого защитного покрытия

Последний слой – это слой легкого защитного покрытия, который защищает солнечную батарею от воздействия внешних факторов, таких как влага и температура. Этот слой может быть изготовлен из различных материалов, таких как полимеры или стекло.

Итак, солнечные фотоэлектрические системы на основе органических или полимерных материалов являются одной из самых перспективных технологий в области энергетики. Они работают на принципе фотоэлектрического эффекта и состоят из нескольких слоев, каждый из которых выполняет свою функцию. Несмотря на некоторые недостатки, такие как короткий срок службы и устойчивость к воздействию внешних факторов, они все еще являются перспективной технологией, которая может заменить традиционные солнечные батареи на основе кремния в некоторых приложениях.

В заключение, выбор типа солнечной батареи зависит от многих факторов, включая эффективность, стоимость, технологичность и экологическую чистоту. Кристаллические солнечные батареи являются наиболее распространенным типом солнечных батарей, но они также являются наиболее дорогими. Тонкие пленочные солнечные батареи являются более технологичным типом солнечных батарей, чем кристаллические солнечные батареи, но они также являются менее эффективными. Концентрированные солнечные батареи являются наиболее эффективным

типом солнечных батарей, но они также являются наиболее сложными в производстве и наиболее дорогими.