

ПРООН/ГЭФ
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

**Базовые принципы солнечной энергетики
для проектирования и строительства солнечных электростанций**

Исполнитель,

Эксперт по вопросам внедрения
солнечных батарей в системах
энергообеспечения в жилом секторе

А.Б. Дюсьмикеев

г. Минск - 2016

Оглавление

Введение	3
1. Солнечные фотоэлектрические технологии	5
1.1 Применение солнечной энергетики	5
1.2 Состав оборудования фотоэлектрической станции.....	7
2. Солнечные модули	15
3. Основные принципы монтажа солнечных панелей	41
3.1 Ориентация и углы установки солнечных панелей	41
3.2 Производительность энергии фотоэлектрической системы в зависимости от типа монтажной конструкции	42
4. Виды конструкций для монтажа солнечных панелей.....	46
4.1 Конструкции для наземного монтажа солнечных панелей.....	46
4.2 Конструкции для монтажа солнечных панелей на крышах	53
5. Нестандартные системы монтажа солнечных панелей для поддержки современных архитектурных решений	55
5.1 Мобильные конструкции для солнечных панелей.....	55
5.2 Фотоэлектрические модули, интегрированные в ограждающие конструкции зданий	56
5.3 Установка тонкопленочных солнечных элементов	63
5.4 Гибридные солнечные коллекторы	72
6. Проектирование солнечной электростанции как элемента энергообеспечения многоквартирного энергоэффективного жилого дома в г.Гродно	73
6.1 Общие положения	73
6.2 Описание системы.....	74
6.3 Основные элементы системы	75

Введение

Солнечная энергетика — направление альтернативной энергетики, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Солнечная энергетика использует возобновляемые источники энергии и является «экологически чистой», то есть не производящей вредных отходов во время активной фазы использования.

https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_энергетика

Солнечная электростанция - инженерное сооружение, служащее для преобразования солнечной радиации в электрическую энергию. Способы преобразования солнечной радиации различны и зависят от конструкции электростанции.

В издании представлены базовые материалы, которые необходимы в виде начального этапа информирования в деле проектирования и строительства солнечных электростанций (далее СЭС). А именно, даны: определения типов и состав солнечных электростанций различного типа, описание фотоэлектрических солнечных модулей, как основы для построения эффективных СЭС, разновидности металлических конструкций и систем для монтажа СЭС. Рассматриваются СЭС только с фотоэлектрическим преобразованием (photovoltaic, фотовольтаик).

Предлагаемое пособие предназначено для повышения квалификации специалистов по проектированию и строительству в области промышленного и гражданского строительства, а также студентов электротехнических, энергетических, проектных и строительных специальностей.

Пособие содержит шесть разделов и охватывает базовые принципы проектирования и строительства СЭС. Кроме краткого обзора всех современных технологий для производства солнечных модулей большое внимание уделено истории вопроса в его развитии и перспективе. Типы металлических конструкций представлены в виде схем и рисунков. Представлены числовые параметры для расчета для архитектурного и конструкционного проектирования.

Первый раздел посвящен обзору солнечных фотоэлектрических технологий и систем. Даны подробные описания четырех типов солнечных электростанций, а также состав оборудования для каждого типа станций.

Во **втором разделе** рассматривается история, классификация и основные технологии производства фотоэлектрических модулей. В качестве приложения включены примеры описания и стандартная документация на солнечные модули 250Вт поликристаллического типа и 90Вт монокристаллического типа.

В **третьем разделе** рассмотрены основные принципы проектирования и монтажа солнечных электростанций. Основное внимание уделено зависимости производительности фотоэлектрической системы от ориентации и углов установки солнечных модулей, а также во взаимосвязи с типом металлической конструкции для монтажа СЭС.

Четвертый раздел детально рассматривает особенности конструкций для наземного, кровельного и других способов монтажа солнечных панелей.

Нестандартные системы монтажа солнечных панелей для поддержки современных архитектурных решений описаны в **пятом разделе**.

Шестой раздел посвящен опыту проектирования и солнечной электростанции, как элемента энергообеспечения многоквартирного энергоэффективного жилого дома в г.Гродно.

Наличие данного пособия не освобождает специалистов от необходимости использования нормативно-технической документации при детальной проработке отдельных вопросов проектирования электроустановок и строительных объектов.

Многообразие условий, которые необходимо учитывать при проектировании солнечных электростанций не позволяет дать однозначные рекомендации по некоторым вопросам. Они должны решаться путем тщательного анализа специфических требований, предъявляемых к проектированию и строительству СЭС. Поэтому приведенные в пособии рекомендации не следует рассматривать как единственно возможные. В отдельных случаях возможны и неизбежны отступления от них, вытекающие из опыта проектирования в жилищном и промышленном строительстве, а также для решения задачи организации рационального землепользования.

Поскольку пособие предназначено для целей информирования, не представляется возможным повсеместно делать ссылки на первоисточники. Основой для подготовки пособия являются издания, указанные в списке литературы.

Материалы пособия могут быть использованы как на стадии проектирования солнечных электростанций, так и при экспертизе проектов и уже введенных в эксплуатацию объектов, для оптимизации развивающихся систем электроснабжения, повышения надежности, безопасности и экономичности их работы.

1. Солнечные фотоэлектрические технологии

1.1 Применение солнечной энергетики

Существует четыре основных типов солнечных электростанций:

- 1) Автономные домашние станции – обеспечение электроэнергией домашних хозяйств и деревень, которые не подключены к промышленной системе электроснабжения ("Off-grid").
- 2) Автономные промышленные станции – электроснабжение для широкого круга потребителей, таких как телекоммуникационные станции, откачка воды и навигационные средства.
- 3) Местные сетевые станции – обеспечение электроэнергией конкретного, подключенного к сети, потребителя ("On-grid").
- 4) Промышленные сетевые станции – обеспечение электроэнергией больших групп потребителей, таких как поселки, города, заводы и др.

Сетевые СЭС

Простейшая схема сетевой солнечной электростанции (и простейшей СЭС вообще) представлена на рис. 1.1

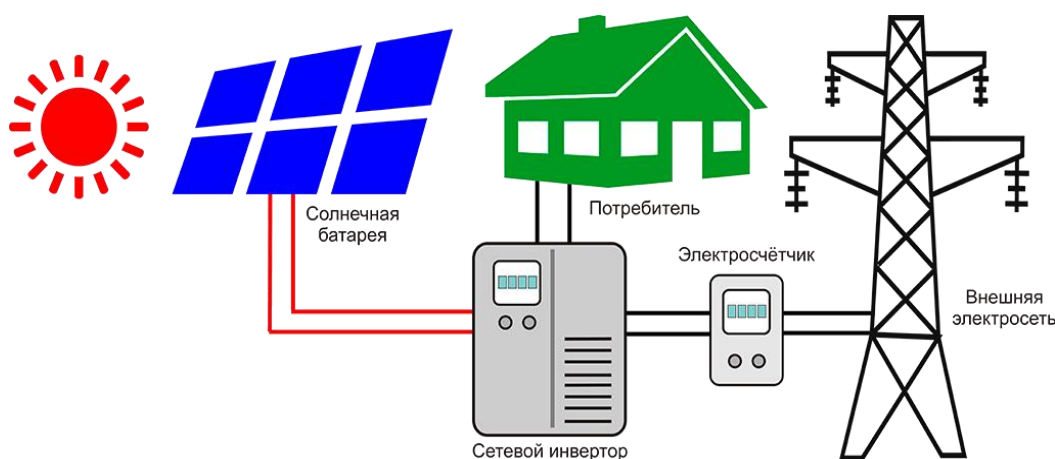


Рисунок 1.1 — Схема сетевой солнечной электростанции;

Для нормальной её работы необходимо подключение к внешней электросети. Наличие и качество внешней электросети (помимо солнца) имеет критическое значение для работы СЭС. При её отсутствии, или несоответствии нормам такая СЭС становится бесполезной даже в самую солнечную и безоблачную погоду. Эта зависимость от центрального электроснабжения является главным недостатком таких СЭС.

К достоинствам следует отнести относительную, но существенную дёшево́сть СЭС и более высокий общий КПД системы по сравнению с другими типами СЭС. Эти два качества делают этот тип СЭС несомненно более привлекательным для выработки электроэнергии для её продажи по т.н. «зелёному тарифу».

Гибридные СЭС (или автономные, соединённые с сетью)

Представляет собой базовую схему сетевой СЭС с добавлением банка аккумуляторных батарей (АКБ), контроллера заряда и заменой сетевого инвертора на гибридный. Отличительной особенностью является возможность запастись частью выработанной в солнечный период электроэнергии в АКБ (рис. 1.2).

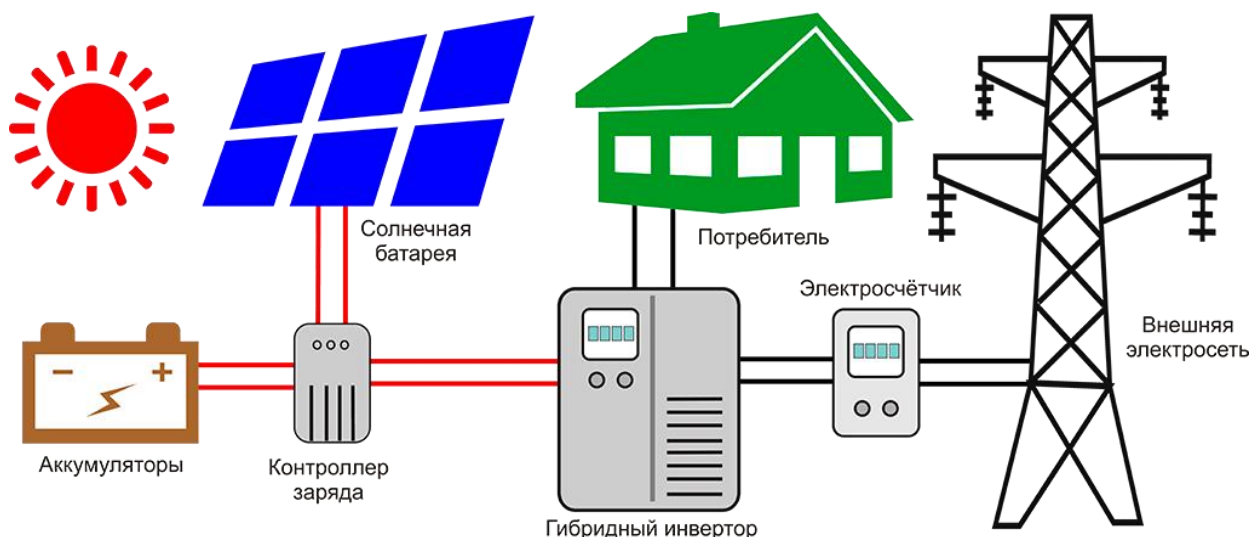


Рисунок 1.2 — Схема автономной, соединённой с сетью (гибридной) СЭС;

Благодаря наличию банка АКБ они менее зависимы от источника центрального электроснабжения. Такие СЭС применяют преимущественно как часть системы бесперебойного питания там, где центральное электроснабжение недостаточно или нестабильно.

К недостаткам следует отнести высокую цену системы, за счёт банка АКБ и мощности инвертора, которые должны быть тем больше, чем больше требуется времени бесперебойной работы и подключаемых нагрузок соответственно.

1.2 Состав оборудования фотоэлектрической станции

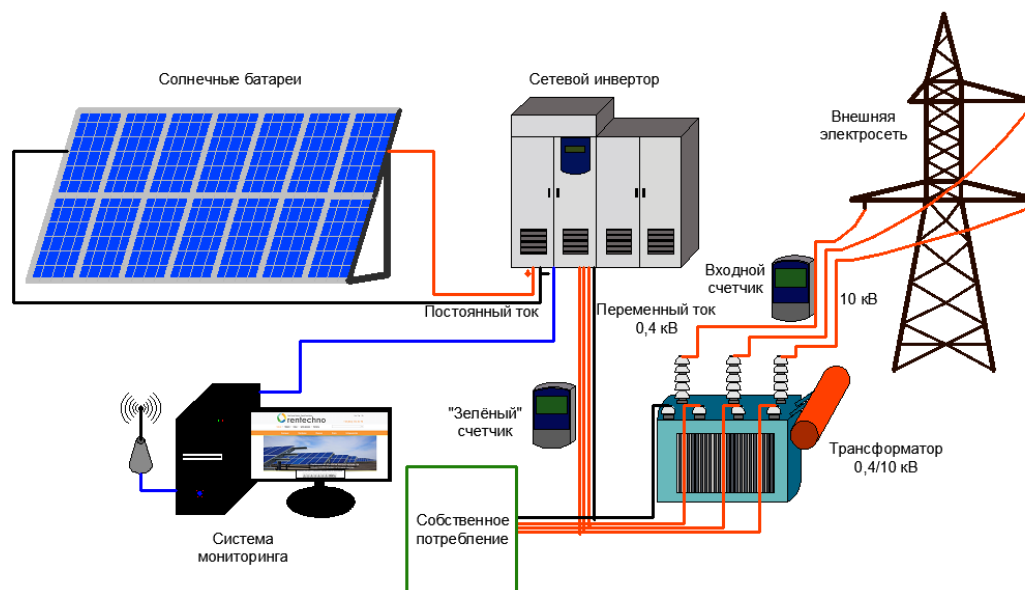


Рисунок 1.3 — Структурная схема типовой сетевой солнечной электростанции

В состав сетевой фотоэлектрической системы входят следующие элементы:

- Солнечные панели, вырабатывающие под действием солнечного излучения постоянный ток;
- Сетевые инверторы, преобразующие постоянный ток (DC), генерируемый солнечными панелями, в переменный (AC);
- Система мониторинга, позволяющая отслеживать параметры работы солнечной электростанции;
- Счетчики, предназначенные для контроля производительности системы и продажи электроэнергии по "зеленому" тарифу и коммуникационное оборудование в виде АСКУЭ;
- Опорные металлоконструкции и элементы крепления для размещения солнечных панелей на земельном участке, крыше здания и т.п. или подвижные поворотные трекеры;
- Централизованная сеть - линия электропередач, к которой подсоединена электростанция;
- Трансформаторы;
- Собственные потребители электроэнергии (промышленные или бытовые электроприборы).

Возможные варианты дополнительной комплектации сетевых солнечных станций: (1) установка аккумуляторных батарей для питания резервированной нагрузки потребителя в случае отключения внешней

электросети; (2) установка системы контроля недопустимости перетоков электроэнергии, генерируемой солнечной электростанцией, в общую сеть; (3) трекерная система слежения за Солнцем, которая позволяет удерживать солнечные модули в оптимальном положении относительно Солнца, максимально используя всю доступную солнечную энергию; (4) системы мониторинга, дистанционной диагностики, хранения данных и визуализации, в режиме реального времени отображающие полную информацию и сохраняющие данные о работе и состоянии системы.

Инвартор (DC/AC converter) — устройство для преобразования постоянного тока в переменный с изменением величины частоты и/или напряжения. Обычно представляет собой генератор периодического напряжения, по форме приближённого к синусоиде, или дискретного сигнала. Инверторы напряжения могут применяться в виде отдельного устройства или входить в состав источников и систем бесперебойного питания аппаратуры электрической энергией переменного тока.

Солнечный генератор (каким бы сложным и большим он не был) может вырабатывать лишь постоянный ток. К счастью, имеется много потребителей, использующих именно постоянный ток (зарядка аккумуляторов, освещение, радиоаппаратура и т.д.), но потребителей переменного напряжения 220В не меньше. Для преобразования постоянного тока аккумуляторной батареи в переменный синусоидальной формы, нужен инвертор.

Инверторы - полупроводниковые приборы. Они могут быть поделены на два типа в соответствии с типом фотоэлектрических систем:

- инверторы для автономных систем солнечных панелей;
- инверторы для сетевого использования.

Выходной каскад у обоих типов во многом похож, а основное отличие в схеме управления. Первый тип имеет генератор частоты, а второй должен работать синхронно с промышленной сетью (и в качестве генератора частоты использует саму сеть).

Для всех типов ключевой параметр - КПД (который должен быть более 90%). Выходное напряжение автономных инверторов как правило составляет 220В (50/60 Гц), а в инверторах мощностью 10-100кВт можно получать трехфазное напряжение 380В. Все автономные инверторы трансформируют постоянный ток аккумуляторных батарей. Вследствие этого входное напряжение выбирается из ряда 12, 24, 48 и 120В. Чем больше входное напряжение, тем

проще инвертор и тем выше его КПД. При больших напряжениях существенно меньше потери на передачу энергии от солнечного генератора к аккумуляторной батарее, регулятору зарядки и инвертору, однако при этом усложняется конструкция солнечной электростанции и ее эксплуатация при опасных напряжениях (выше 40 В). К форме выходного сигнала автономных инверторов предъявляются менее жесткие требования. В ряде случаев (если позволяет нагрузка) возможно использование инверторов с трапециевидным выходным сигналом. Такие инверторы стоят в 2-3 раза дешевле инверторов с синусоидальным выходным сигналом. Важный параметр автономных инверторов - зависимость КПД от мощности подключенной нагрузки. КПД не должен значительно снижаться при подключении нагрузки в десять раз меньшей (по потребляемой мощности), чем номинальная мощность инвертора. Вместе с тем инвертор должен выдерживать перегрузки в выходных цепях (при подключении электродвигателей и прочих динамичных нагрузок). Таким образом, к автономному инвертору предъявляются следующие требования:

- способность переносить без последствий перегрузки (как кратковременные, так и длительные);
- маленькие потери при малых нагрузках и на холостом ходу;
- стабилизация выходного напряжения;
- низкий коэффициент гармоник;
- высокий КПД;
- отсутствие помех на радиочастотах.

Иностранные фирмы предлагают широкий ассортимент инверторов, специально разработанных для солнечных панелей. Такие инверторы уже имеют блок регулятора отбора максимальной мощности, блок регулятора заряда, а также дополнительный вход подключения дизель-генератора (для экстренной подзарядки аккумуляторной батареи).

К выходному сигналу сетевых инверторов предъявляются наиболее жесткие требования. Для понижения потерь на преобразование такие инверторы работают при высоких входных напряжениях. Поскольку их входные цепи запитываются напрямую от солнечной панели, инверторы имеют регулятор отбора максимальной мощности (встроенный в инвертор). Сетевые инверторы имеют также блок контроля мощности солнечной панели (и включаются автоматически, как только мощность солнечной панели становится достаточной для формирования переменного сигнала).

Система мониторинга. Энергоэффективность солнечных электростанций зависит от степени надежности, экономичности эксплуатации и оптимизации работы всех компонентов системы. Для этого необходим непрерывный мониторинг эффективности работы оборудования, который, одновременно, позволяет своевременно обнаружить нарушения в работе солнечных панелей и других компонентов системы, а также контролировать доступ к отдельным модулям. Солнечная установка состоит из модулей, регистрирующих сигналы датчиков тока, напряжения и температуры отдельных солнечных панелей, а также датчиков скорости ветра, положения Солнца, дверных датчиков или датчиков несанкционированного доступа к сетевым инверторам. Модули рассчитанные на установку на DIN-рейку, в зависимости от их количества и др. требований, встраиваются в соединительные коробки или в шкафы управления. Системные модули соединены с локальным контроллером, который, в свою очередь, связан с контроллером более высокого уровня по шине Modbus RS485 или CAN. Модульное построение обеспечивает высокую гибкость конфигурации и расширения системы. Благодаря этому модули подходят для применения как в солнечных парках, так и в небольших (мини) электростанциях.

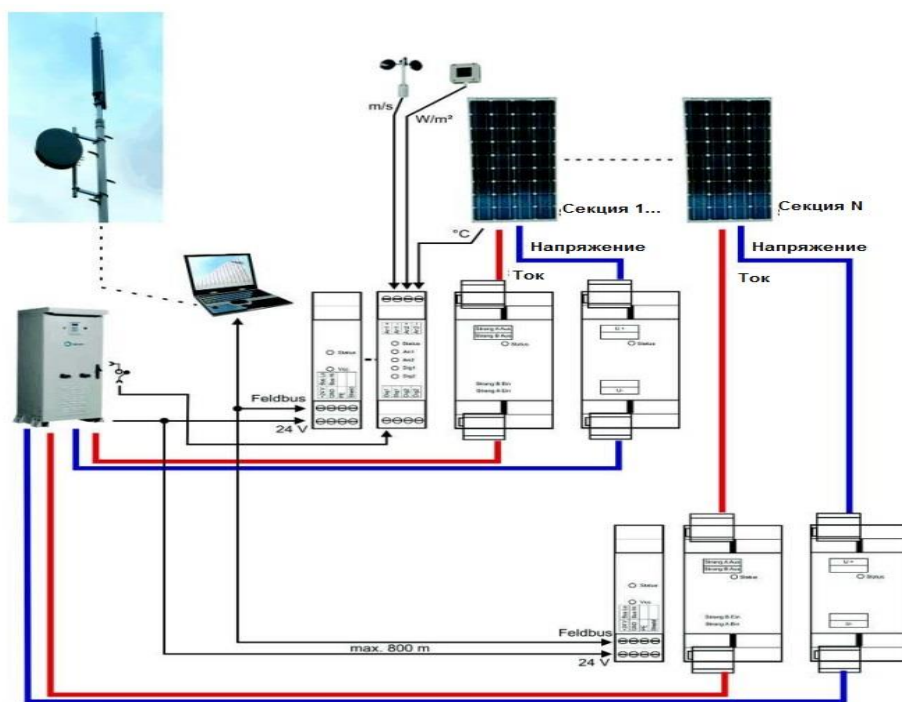


Рисунок 1.4 — Пример работы системы мониторинга:

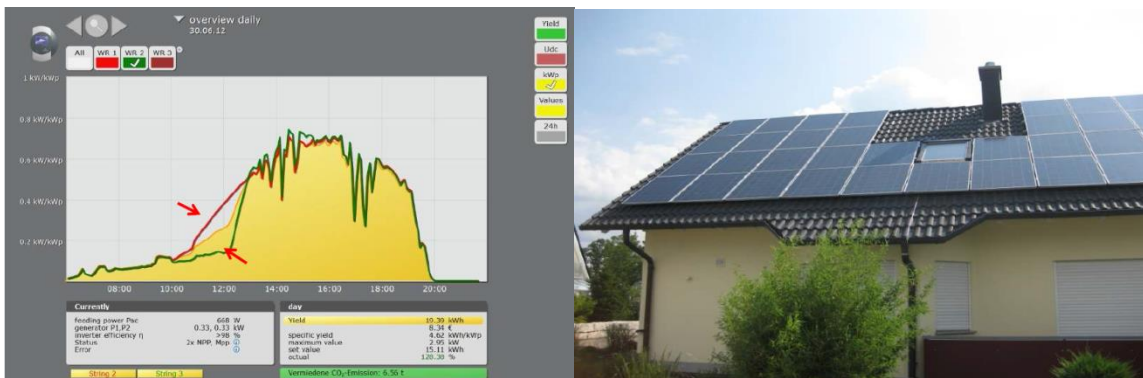
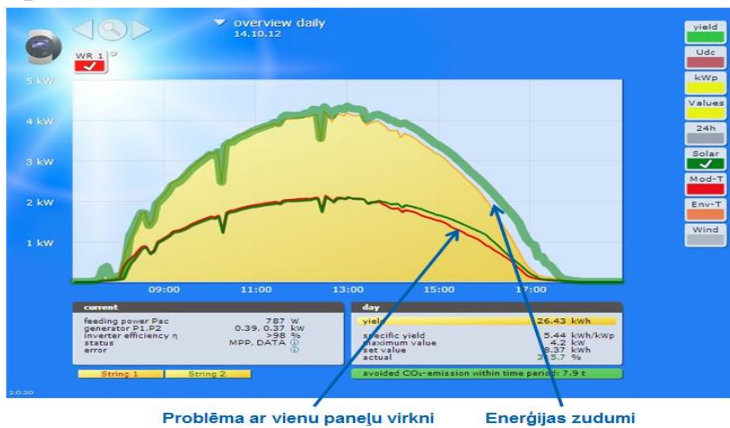


Рисунок 1.5

Примерно в 11:00 у одной ветви панелей наблюдается падение производительности. В чем причина? – Тень от трубы! (Рисунок 1.5)

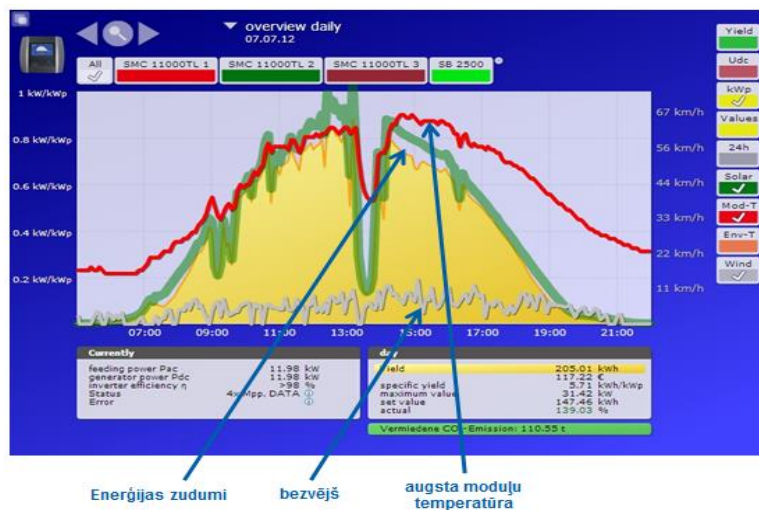
Еще один пример, показывающий, как тень от дерева создает падение производительности в одной ветви панелей.



Probléma ar vienu paneļu virkni Enerģijas zudumi

Рисунок 1.6

Влияет ли жара на работу солнечных панелей?



Enerģijas zudumi bezvējš augsta moduļu temperatūra

Рисунок 1.7

Из-за высокой температуры панелей и отсутствия ветра, видно что с 14:00-16:00 солнечные панели не работают с максимальной эффективностью. Об этом свидетельствует кривая солнечной радиации (зеленая). Возможная причина – недостаточная вентиляция между панелями и крышей.

Не повреждена ли какая-нибудь панель?

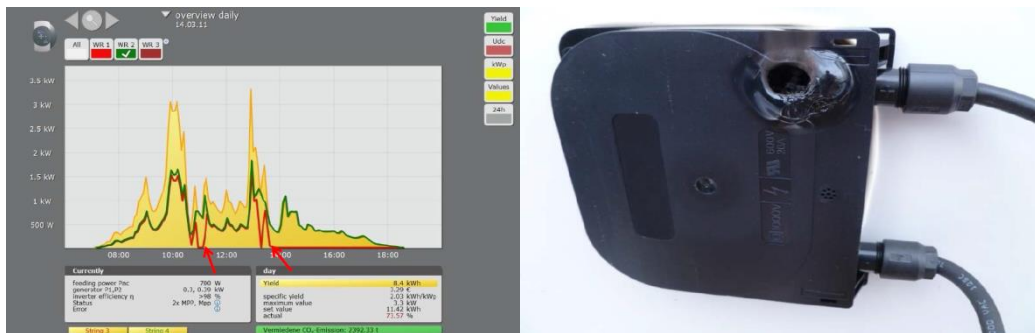


Рисунок 1.8

После 13:00 одна ветвь панелей перестала работать.

Причина – выход из строя одной соединительной коробки панели, как результат вся одна ветвь панелей не работает, создавая большие потери энергии.

Все ли инверторы работают эффективно?



Рисунок 1.9

На этом графике можно наблюдать работу солнечной электростанции с двумя инверторами, один из которых поврежден.

Аккумуляторные батареи. Выработанную солнечной панелью энергию можно сохранять в разных формах:

- химическая энергия в электрохимических аккумуляторах;
- потенциальная энергия воды в резервуарах;
- тепловая энергия в тепловых аккумуляторах;
- кинетическая энергия вращающихся масс или сжатого воздуха.

Для солнечных панелей больше подходят электро-аккумуляторы, так как солнечные панели производят, а потребитель потребляет электроэнергию, которая непосредственно и запасается в аккумуляторе. Исключение - солнечные станции для водоснабжения, где потребляется вода, а энергия запасается в потенциальной энергии воды в водонапорной башне.

В большинстве фотоэлектрических систем применяют свинцово-кислотные аккумуляторы. Нужно сразу подчеркнуть, что аккумуляторы специально предназначенные для солнечных панелей (и других подобных систем), существенно отличаются от стартерных автомобильных аккумуляторов, пусть даже имеющих в основе ту же технологию.

Главными условиями по выбору аккумуляторов являются:

- стойкость к циклическому режиму работы;
- способность переносить без последствий глубокий разряд;
- низкий саморазряд аккумулятора;
- нечувствительность к нарушению условий зарядки и разрядки;
- долговечность;
- простота в обслуживании;
- компактность и герметичность (важный критерий для переносных или периодически демонтируемых солнечных панелей).

Этим требованиям в полной мере удовлетворяют аккумуляторы, изготовленные по технологиям "dryfit" и AGM (адсорбированный электролит) или рекомбинационной технологии. Они характеризуются отсутствием эксплуатационных затрат и перекрывают диапазон емкостей 1-12000 А•ч, что позволяет удовлетворять требованиям всех потребителей. Эти аккумуляторы отличаются пониженным газовыделением и рекомбинацией кислорода. Вследствие этого вода электролита не электролизуется и не испаряется, и такие аккумуляторы не требуют доливки электролита. К примеру, аккумуляторы одной из фирм с трубчатыми положительными пластинами, имеют следующие характеристики:

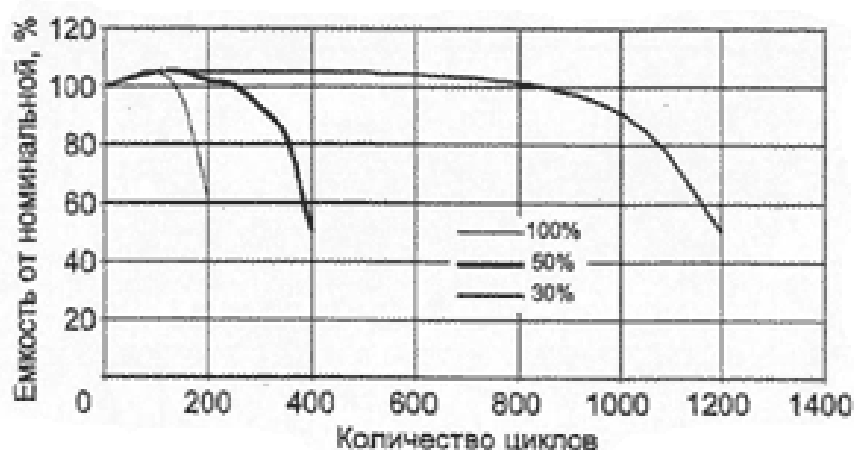
- большой срок службы -15 лет;
- стойкость к циклическому режиму - более 1200 циклов;

- отсутствие необходимости обслуживания в течение всего срока службы;
- минимальное газовыделение (благодаря применению сплава без сурьмы и использованию технологии внутренней рекомбинации газа);
- саморазряд - примерно 3% в месяц.

Вследствие высокой стоимости таких аккумуляторов, появляется желание использовать обычные стартерные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (автомобильный аккумулятор). Срок службы таких аккумуляторов в составе солнечной электростанции - не более 3-5 лет. Вследствие этого за срок использования солнечной панели (15-20 лет и более) необходимо будет менять аккумуляторы (к этому добавятся затраты на обслуживание аккумуляторов и оборудование помещений).

Ради продления срока службы аккумуляторов при циклическом режиме работы в солнечных панелях важно не допускать глубокого разряда. Уровень разряда характеризуется глубиной разряда, которая выражается в процентах от номинальной емкости аккумулятора. На рисунке 5 изображена зависимость емкости аккумулятора (в процентах от номинальной) от количества отработанных циклов при различной глубине разряда (аккумуляторы FIAMM GS). Таким образом, эксплуатация аккумуляторов при глубоком разряде ведет к их более частой замене и, соответственно, к удорожанию системы. Глубину разряда аккумуляторов солнечных панелей стараются ограничить на уровне 30-40%, что достигается отключением нагрузки (или снижением мощности) либо использованием аккумуляторов большей емкости.

Зависимость емкости аккумулятора от количества отработанных циклов при различной глубине разряда:



1.10 — Зависимость емкости аккумулятора от количества отработанных циклов при различной глубине разряда

Вследствие этого, для управления процессом зарядки и выбора оптимального режима, в состав солнечной электростанции обязательно включают контроллеры зарядки-разрядки аккумуляторной батареи.

2. Солнечные модули

Образ кремниевого фотоэлемента это первое что приходит на ум большинству людей при упоминании слова солнечная панель. Это объясняется тем, что несколько лет назад кремний, как сырье для фотоэлектрической индустрии, составлял почти 100% рынка. Сегодня ситуация значительно изменилась. Кремний, как строительный блок солнечной панели все больше уступает место на рынке новым технологиям называемым «тонкопленочные солнечные ячейки». В данной технологии фотоэлементы изготавливаются из очень тонкого слоя полупроводника. Есть более прогрессивные технологии, полностью лишенные классических полупроводников. Чтобы классифицировать эти технологии ввели понятие поколения фотоэлементов.

- Первое поколение

Первое поколение фотоэлементов - это классические кремниевые элементы с традиционным p-n переходом, которые большинство из нас подразумевает под словом солнечные фотоэлементы. Как правило, это пластины из чистого монокристаллического или поликристаллического кремния толщиной 200-300 мкм. Они характеризуются высоким КПД (17-22%) и высокой себестоимостью. Срок их службы около 20 лет.

Элементы первого поколения имеют относительно толстый слой (как правило, монокристаллический) кремния, который укладывается поверх металлической основы (базовый контакт). Две стороны полупроводников присадочные, это значит, что к кремнию добавлены примеси в виде других химических элементов – с одной стороны полупроводник обогащается электронами (n-типа), путем добавления химического элемента с более высоким количеством электронов (как правило, фосфор) к кремнию, и элемент с малым количеством электронов (как правило, бор) к другой стороне (p-тип). Легирование проводится для улучшения проводящих свойств полупроводника путем создания так называемого p-n-перехода, где создается электрическое поле. Антиотражающее покрытие и очень тонкая

металлическая сетка укладываются поверх р-n-перехода, к которому присоединяется провод, замыкающий цепь.

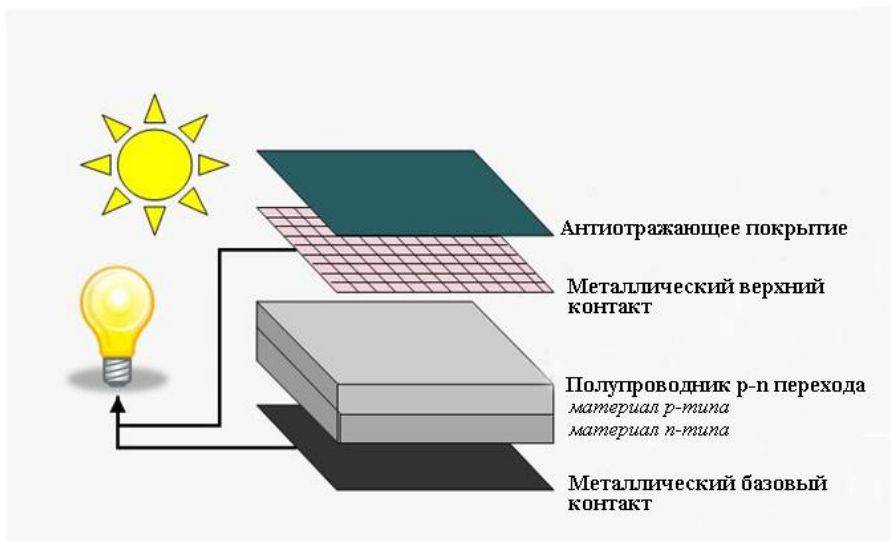


Рисунок 1.11 — Схема СЭ первого поколения

Солнечные панели на основе кремния составляют на сегодняшний день порядка 90% всех выпускаемых солнечных панелей. Кремний – один из самых распространенных элементов земной коры и составляет по разным данным 27-29% по массе. Таким образом, нет никаких физических ограничений для производства значительной доли электроэнергии Земли с имеющимися запасами Si.

- Монокристаллический кремний

Большинство солнечных элементов делают из кремниевых подложек, которые могут быть либо монокристаллическими, либо мульткристаллическими. Обычно монокристаллические подложки имеют лучшие характеристики, но и более высокую стоимость. Кристаллический кремний имеет упорядоченную кристаллическую структуру, в которой каждый атом находится в точно определенном месте. Поведение кристаллического кремния хорошо предсказуемо, однако, из-за медленности и сложности процесса производства он является самым дорогостоящим видом кремния.

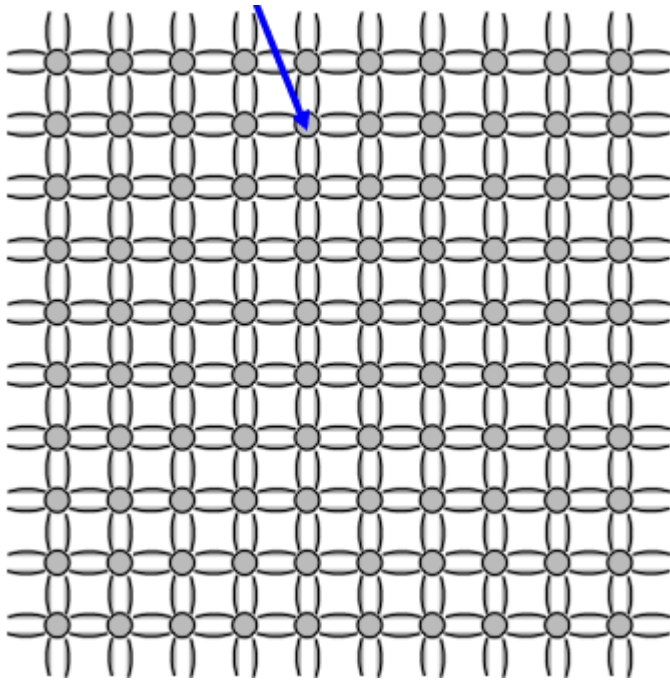


Рисунок 1.12 — Кристаллическая решетка монокристаллического Si

Монокристаллический кремний обычно выращивают в виде больших цилиндрических слитков методом Чохральского, из которых делают круглые или полуквадратные солнечные элементы. Полуквадратные подложки тоже когда-то были круглыми, но для более плотного расположения в прямоугольном модуле их края обрезали.

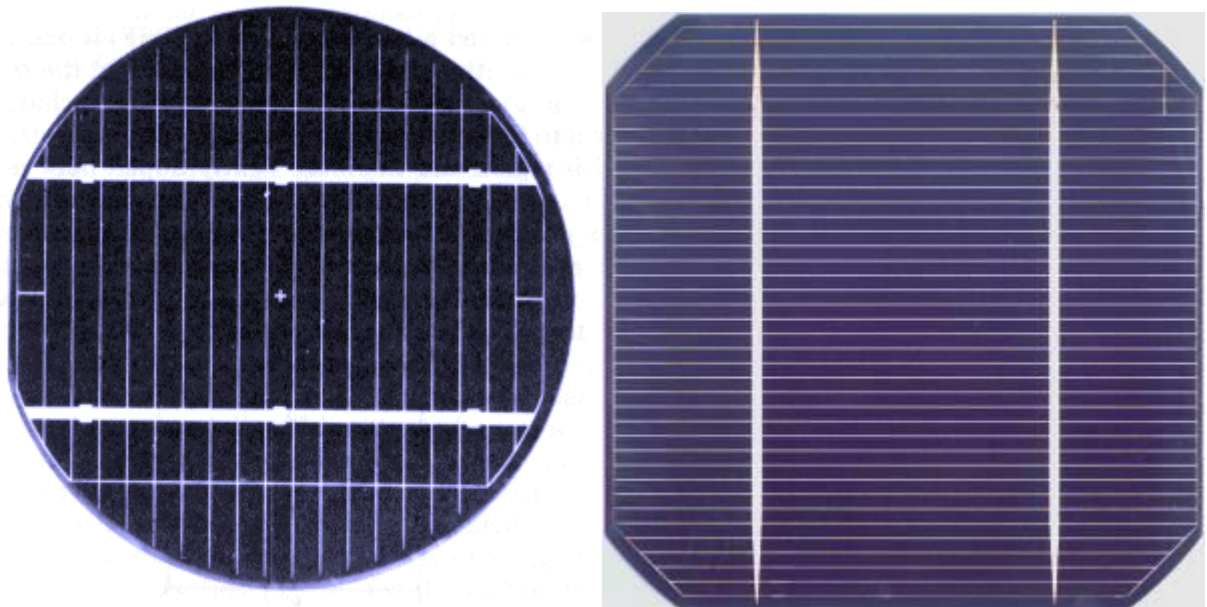


Рисунок 1.13 — Солнечные элементы из монокристаллического Si

Монокристалл кремния вырастает из семени, медленно вытягивающегося из кремниевого расплава. Полученные в результате стержни нарезаются на

диски толщиной 0,2-0,4 мм. Затем диски подвергаются ряду производственных операций, которые превращают их в собственно монокристаллические фотоэлементы:

- обтачивание, очистка и шлифовка;
- защитные покрытия;
- металлизация.



Рисунок 1.14 — Слиток, выращенный методом Чохральского и солнечный модуль из монокристаллического Si

Основной недостаток монокристаллических фотоэлементов – это высокая стоимость, 50-70% которой составляет цена самого кремния, обусловленная высокой энергоёмкостью его получения. Снижение мощности при затенении или сильной облачности - еще один существенный минус этих фотоэлементов

- Поликристаллический кремний

В этом случае для производства СБ используется более дешевый кремний, произведенный по методу направленной кристаллизации в тигле (block-cast). Рост поликристаллических слитков достаточно простой процесс, где кремний плавится и охлаждается в тигле. Вначале тигель заполняется твердыми кусочками чистого кремния, затем тигель нагревают пока кремний не начинает плавиться. После полного плавления кремния, тигель медленно охлаждают, при этом происходит постепенный рост крупных зерен. Полученный слиток удаляется из тигля и разрезается на меньшие блоки, которые затем разрезают на пластины. Получаемые в результате кремниевые пластины состоят из множества мелких разнонаправленных кристаллитов

(типичные размеры 1-10мм) разделенных границами зерен. Границы зерен создают дополнительные дефектные уровни в запрещенной зоне полупроводника, являясь локальными центрами с высокой скоростью рекомбинации, что приводит к уменьшению общего времени жизни неосновных носителей. Кроме того, границы зерен уменьшают производительность препятствуя току носителей и создавая шунтирующие пути для тока, текущего через р-п переход. Подобные неидеальности кристаллической структуры (дефекты) приводят к снижению эффективности и меньшему сроку эксплуатации – до 10 лет, однако и стоимость их ниже за счет меньшего расхода энергии при изготовлении. К тому же, мощность поликристаллических фотоэлементов зависит от затенения в меньшей степени, чем монокристаллических.

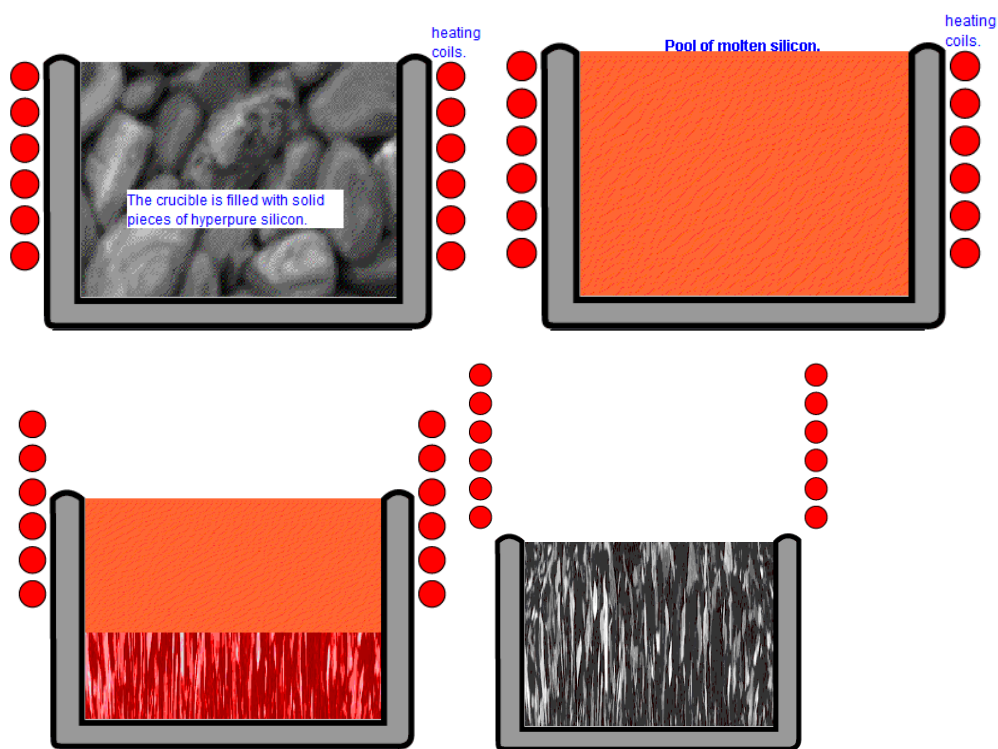


Рисунок 1.15 — Схема метода направленной кристаллизации в тигле



Рисунок 1.16 — Выращенная плита поликристаллического кремния

Чтобы избежать слишком больших рекомбинационных потерь на границах зерен, размер зерен должен быть как минимум несколько миллиметров. Это условие также означает, что размеры одного зерна будут больше, чем толщина солнечного элемента, что уменьшит сопротивление току носителей и общую протяженность пограничных областей в солнечном элементе. Такой поликристаллический кремний широко используется в коммерческих солнечных элементах.

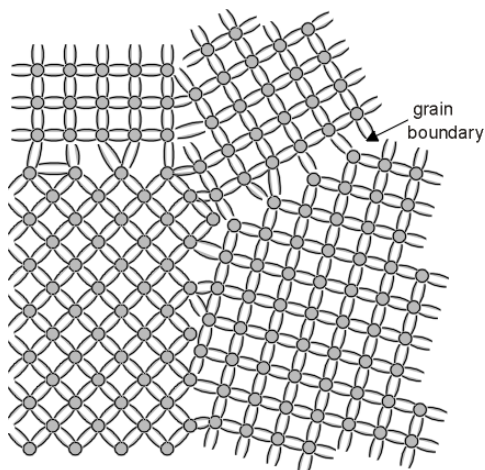


Рисунок 1.17 — Решетка поликристаллического Si

На границе между двумя кристаллическими зёрнами существует напряжение между связями, ухудшающее электронные свойства.

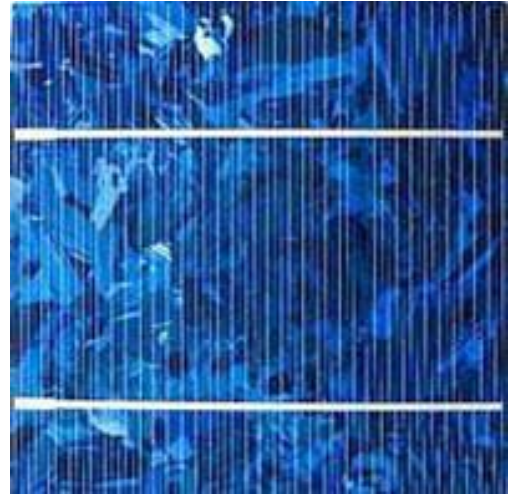
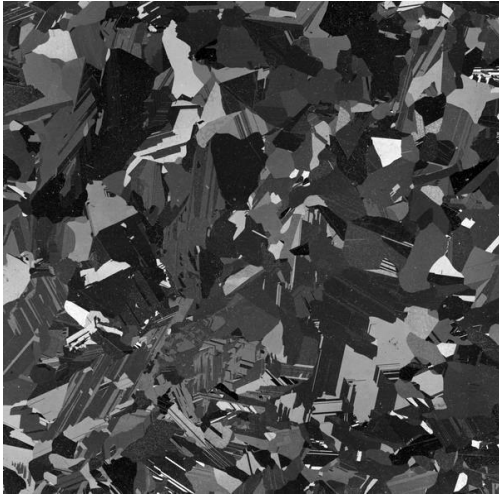
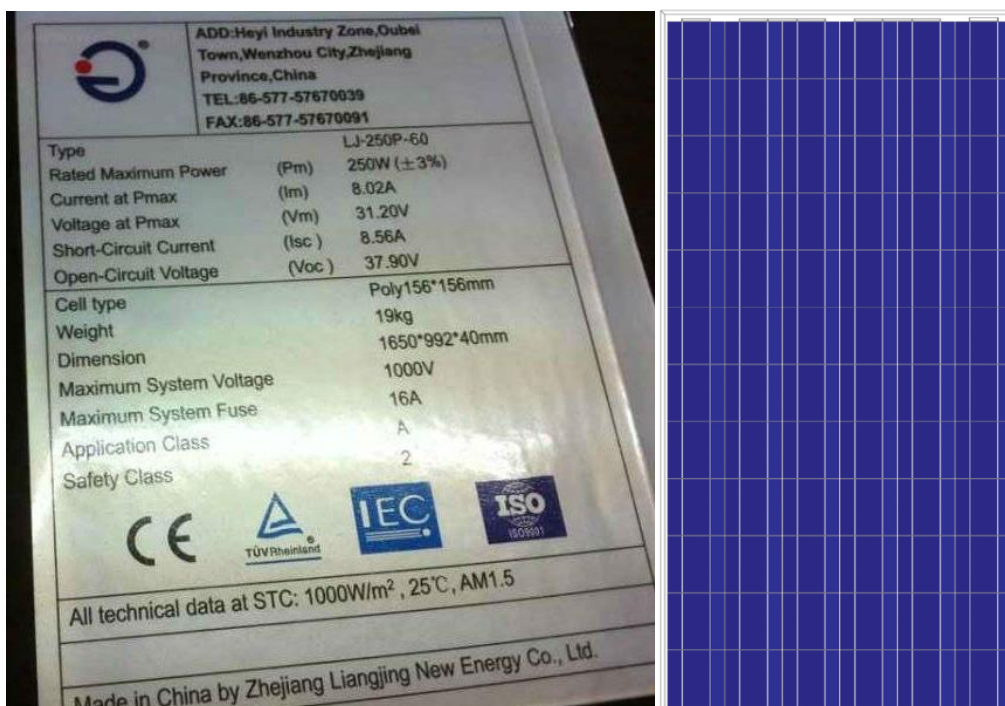


Рисунок 1.18 — Поликристаллический Si и модуль

Солнечные панели из моно- и поликристаллического кремния на данный момент являются наиболее востребованными на рынке возобновляемой энергетики по сравнению с остальными типами фотопреобразователей.

Главным поставщиком солнечных панелей является Китай, где функционируют компании, предлагающие солнечные панели с оптимальным соотношением цена/качество. В климатических условиях Беларуси популяризированы панели из поликристаллического кремния, что связано с достаточно высокими показателями производительности в условиях пасмурной погоды (рассеянного света). Как правило, используются панели номинальной мощностью 250-255 Вт для кровельных станций и 300-310 Вт для наземных станций.

На следующем рисунке представлена солнечная панель торговой марки «LEGINE» китайской компании ZHEJIANG LIANGJING NEW ENERGY



Солнечные панели, выпускаемые промышленно для продажи, должны иметь Сертификат качества менеджмента системы (ISO), сертификаты подтверждения качества (CE, TUV), прилагаемые к ним протоколы испытаний.

На территории Таможенного союза необходимо иметь сертификат или декларацию о соответствии требованиям технического регламента Таможенного Союза. Пример декларации:



ТАМОЖЕННЫЙ СОЮЗ
ДЕКЛАРАЦИЯ О СООТВЕТСТВИИ

Заявитель Производственное частное унитарное предприятие «МЕДИУМ»
Свидетельство о государственной регистрации коммерческой организации зарегистрировано в Едином государственном регистре юридических лиц и индивидуальных предпринимателей от 27 июля 2000 г., регистрационный № 100192387
Уполномоченный представитель WeApple International Corporation (Китай) согласно договора дистрибьюторства б/п от 09.02.2014

юридический адрес: Республика Беларусь, 222214, Минская область, Смолевичский район, д. Высокое, д. 18, кв. 14;

фактический адрес: Республика Беларусь, 220029, г. Минск, пр. Машерова, 9, пом.1, комната 319; телефон: +8017-334-49-23, факс: +8017-334-49-23, e-mail: dsmikeev@solarenrg.by

в лице директора Галкина Александра Анатольевича

заявляет, что солнечные панели торговой марки «LEGINE» серии LJ-xxxY-zz, где "xxx"- может быть от 135 до 315, с шагом 5; "Y"-может быть M или P; "zz" может быть 36, 48, 54, 60, 72, 96.

изготовитель: ZHEJIANG LIANGJING NEW ENERGY CO., LTD.

адрес: Heyi Industrial Zone, Oubei town, Wenzhou city, Yongjia Country, 236000, Китай
телефон: +86-577-5767033, факс: +86-577-5767033; e-mail: eva@leginepower.com

код ТН ВЭД ТС 8501 31 000 0

серийный выпуск

соответствуют требованиям технического регламента Таможенного союза «О безопасности низковольтного оборудования» ТР ТС 004/2011
технического регламента Таможенного союза «Электромагнитная совместимость технических средств» ТР ТС 020/2011

Декларация о соответствии принята на основании:

1. Протокола испытаний EUROPE TESTING CERTIFICATION., CO. LIMITED (Великобритания) № ETRE1205141109 от 14.05.2012;
2. Протокола испытаний TÜV Rheinland PTL, LLC. (Германия) № ZLS110713 от 13/02/2012;
3. Сертификата на систему менеджмента качества ISO 9001:2008 № USA13Q29105R0M от 13.11.2013 BEIJING EAST ALLREACH CERTIFICATION CENTER (Китай), срок действия до 12.11.2016.

Дополнительная информация: --- .

Декларация о соответствии действительна с даты регистрации по 13.03.2020 включительно.

М.П.  (подпись) 

А. А. Галкин

(инициалы и фамилия руководителя организации-заявителя или физического лица, зарегистрированного в качестве индивидуального предпринимателя)

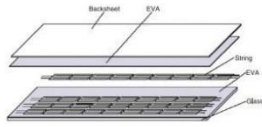
Сведения о регистрации декларации о соответствии:

Регистрационный номер декларации о соответствии:

ТС № ВУ/112 11.01. ТР004 020 00748.

Дата регистрации декларации о соответствии: 25.03.2015.

LJ-250P-60 245W/250W/255W/260W



- Power tolerance (0 ~ +3%) to ensure the high reliability of power output
- Modules certified by TÜV to withstand high level of wind loads (2400 Pa) and snow loads (4500 Pa)
- Special PV Module Insurances by world leading insurance company guarantees the benefits of PV investors and PV module users
- Junction box and bypass diodes guarantee the modules free of overheating and "hot spot effect"

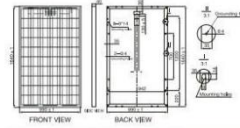
Guaranteed Performance**

- 10** Years Manufacturing Warranty
- 12** Years Warranty 90% Power Output
- 25** Years Warranty 80% Power Output

Choosing Legine Solar

- The most vertically integrated solar manufacturer in the industry with production modules using both mono crystalline and multi crystalline technology.
- Global distribution with local warehousing, delivery and after sales services.
- Modules certified by global testing facilities: IEC61215, IEC61730, CE, PHS.
- Manufacturing with international quality standards and environment management system: ISO9001 and ISO14001.
- Most updated design with drainage holes in the frame ensures the modules to withstand various weather conditions.
- Minimal wiring effort required as the module has high reverse current resistance.

MECHANICAL DRAWINGS



MECHANICAL SPECIFICATION

Cell Type	Polycrystalline 156 x 156mm
Number of cells	60(6 x 10)
Dimensions (A x B x C)	1640 x 990 x 40mm
Weight	21kg
Front Glass	3.2mm tempered low iron glass
Frame	Clear anodized aluminum alloy
Junction Box	IP 65, with bypass diodes
Connector	MCA compatible
Output Cables	TUV, 3 length 900mm, 4.0mm ²

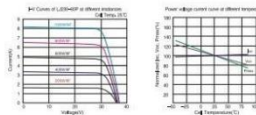
ELECTRICAL CHARACTERISTICS

	245W	250W	255W	260W
Maximum Power at STC(Pmax)	245W	250W	255W	260W
Short Circuit Current(Isc)	8.63A	8.71A	8.80A	8.89A
Open Circuit Voltage(Voc)	36.1V	36.5V	36.4V	36.7V
Maximum Power Current(Imp)	8.05A	8.17A	8.30A	8.42A
Maximum Power Voltage(Vmp)	30.4V	30.6V	30.7V	30.9V
Encapsulated Cell Efficiency	17.30%	17.65%	18.00%	18.36%
Module Efficiency	15.09%	15.40%	15.71%	16.01%
Power Tolerance	0 ~ +3%	0 ~ +3%	0 ~ +3%	0 ~ +3%

STC: irradiance 1000W/m² Module temperature 25°C AM-1.5

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C ± 2°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.44%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.06%/°C



SYSTEM INTEGRATION PARAMETERS

Maximum system voltage	VDC 1000V
Maximum Series Fuse	15A
Increased snowload acc. to IEC 61215	5400Pa
Operating Temperature	-40 to +85°C
Number of bypass diodes	3 or 6

QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES



Маркировка **LJ-250P-60** расшифровывается следующим образом:

LJ - буквы, являющиеся индикатором названия компании или торговой марки, например ZHEJIANG LIANGJING NEW ENERGY

250 - мощность солнечной панели;

P - тип кристаллической решетки кремниевых элементов солнечной панели (P (poly) или M (mono));

60 – число элементов, из которых собрана солнечная панель;

Также приведем пример монокристаллического модуля: маркировка **CHN 90-36M** расшифровывается:

CHN - буквы, являющиеся индикатором названия компании или торговой марки, в данном случае компания ChinaLand

90 - мощность солнечной панели;

M- тип кристаллической решетки кремниевых элементов солнечной панели (P (poly) или M (mono));

36– число элементов, из которых собрана солнечная панель.

Важными параметрами, которые характеризуют солнечный модуль являются:

Механические

Cell Type
Number of cells
Dimensions (A x B x C)
Weights
Front Glass
Frame
Junction Box
Connector
Output Cables

Тип элементов
Размерность модуля
Размер модуля
Масса
Тип рамы
Стекло
Распределительная коробка
Коннектор
Выходной кабель

Электрические

Maximum Power at STC(Pmax)
Short Circuit Current(Isc)
Open Circuit Voltage(Voc)
Maximum Power Current(Imp)
Maximum Power Voltage(Vmpp)
Encapsulated Cell Efficiency
Module Efficiency
Power Tolerance

Максимальная мощность при стандартных условиях испытания*
Ток короткого замыкания
Напряжение холостого хода
Сила тока в точке максимальной мощности
Напряжение в точке максимальной мощности
Эффективность одного отдельного элемента
Эффективность солнечной панели

*



Ток короткого замыкания - это ток, протекающий через СЭ, когда напряжение равно нулю (то есть когда СЭ замкнут накоротко). Ток короткого замыкания обычно обозначается как ISC. Ток короткого замыкания можно считать максимальным током, который способен создать СЭ.

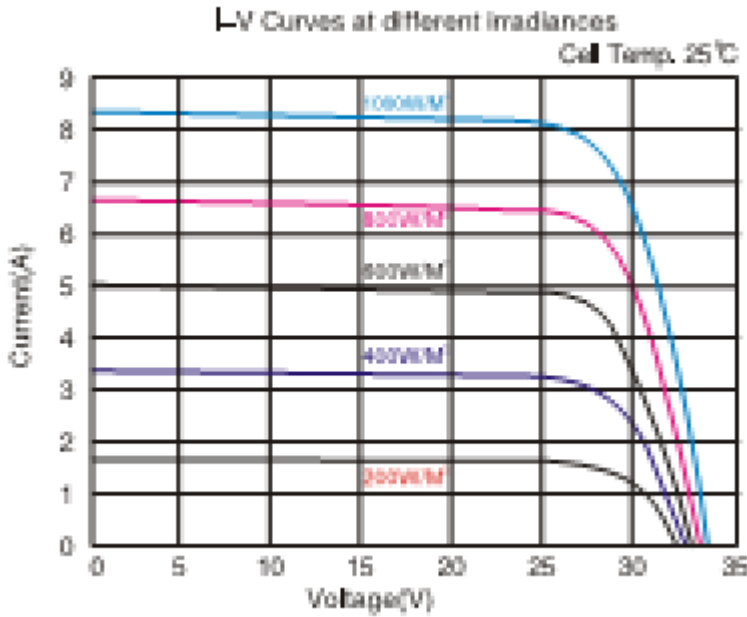
Напряжение холостого хода - это максимальное напряжение, создаваемое СЭ, возникающее при нулевом токе. Напряжение холостого хода равно прямому смещению, соответствующему изменению напряжения р-п перехода при появлении светового тока.

Температурные характеристики (характеризуют изменение параметров производительности солнечной панели при изменении температуры на 1°C)

Temperature Coefficient of Pmax
Temperature Coefficient of Voc
Temperature Coefficient of Isc

Температурный коэффициент максимума мощности
Температурный коэффициент напряжения холостого хода
Температурный коэффициент тока короткого замыкания

Вольтамперная характеристика солнечной панели при различных уровнях освещенности:



Ток короткого замыкания и напряжение холостого хода - это максимальные ток и напряжение, которые можно получить от СЭ. Однако, мощность СЭ в обеих этих точках равна нулю. Коэффициент заполнения, который обычно обозначается "FF", - это параметр, который в сочетании с V_{OC} и I_{SC} определяет максимальную мощность СЭ. FF определяется, как отношение максимальной мощности СЭ к произведению V_{OC} и I_{SC} . Графически FF представляет собой меру квадратичности СЭ и равен максимальной площади прямоугольника, который можно вписать в вольтамперную кривую. FF показан на следующем изображении.

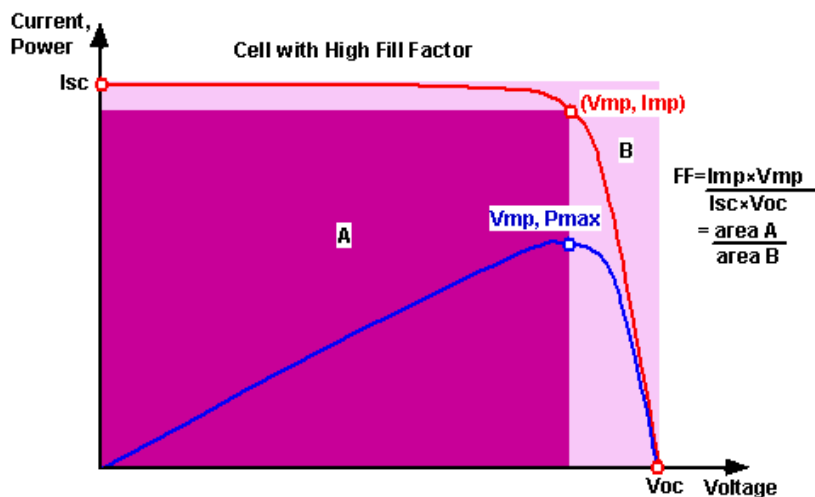


Рисунок 1.19 — Зависимость выходного тока (красная линия) и мощности (синяя линия) СЭ от напряжения.

Увеличение температуры существенно влияет на ФВ модуль уменьшая его напряжение, а, следовательно, и выходную мощность. Кроме того, увеличение температуры приводит к некоторым нежелательным последствиям. Так, оно увеличивает напряжение, связанное с термическим расширением, также увеличивает скорость деградации примерно в два раза на каждые 10 градусов температуры.

Параметром, наиболее подверженным изменению температуры, является напряжение холостого хода. Влияние увеличения температуры показано на следующем графике.

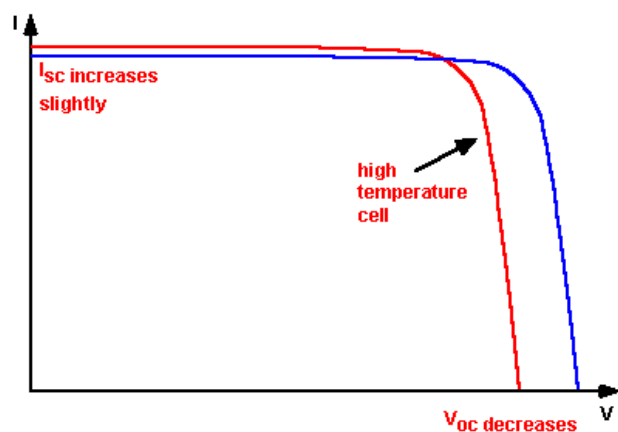
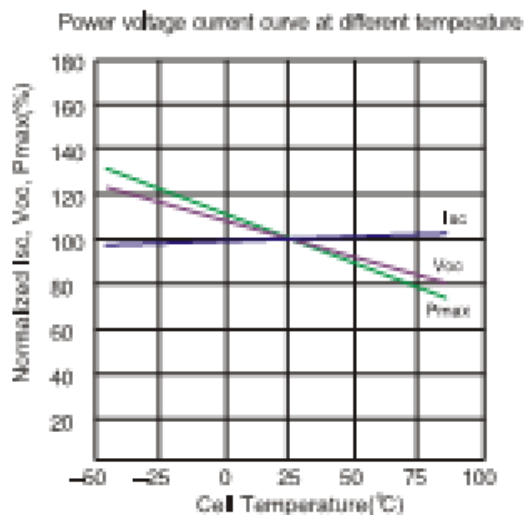


Рисунок 1.20 — Влияние температуры на ВАХ солнечного модуля

Поэтому важным для рассмотрения при выборе солнечного модуля является график зависимости тока короткого замыкания, напряжения холостого хода и максимальной мощности от температуры:



- Второе поколение

Второе поколение фотоэлементов также основывается на использовании p-n перехода, однако не используют кристаллический кремний как основной материал. Обычно используются следующие материалы: теллур, кадмий (CdTe), смесь меди, индия, галлия, селена (CIGS) и аморфный кремний. Как правило, толщина поглощающего свет слоя полупроводника составляет всего от 1 до 3 мкм. Процесс производства таких фотоэлементов более автоматизирован и имеет значительно меньшую себестоимость. Основным недостатком второго поколения элементов является меньшая эффективность, чем элементы первого поколения, которая колеблется в зависимости от технологии от 7-15%.

- Фотоэлементы из аморфного кремния

Аморфный кремний всегда содержит водород в количестве от 5 до 20 ат. %, который блокирует оборванные связи кремния, поэтому он является гидrogenизированной формой кремния. Гидrogenизированный аморфный кремний ($a\text{-Si:H}$) является прямозонным полупроводником с шириной запрещенной зоны 1,7 эВ и высоким коэффициентом оптического поглощения. Это означает, что пленка толщиной всего несколько микрон (0,5–1,0 мкм) поглотит большую часть солнечного излучения. При легировании пленки аморфного кремния германием ширина запрещенной зоны уменьшается, а при добавлении углерода – увеличивается. Это позволяет создавать солнечные элементы с двумя или тремя гетеропереходами, перекрывающими практически весь солнечный спектр. Эффективность фотопреобразования таких элементов достигает 12%.

Недостатком является деградация физических свойств элемента под действием солнечного излучения – эффект Штеблера-Вронского (the Staebler-Wronski effect).

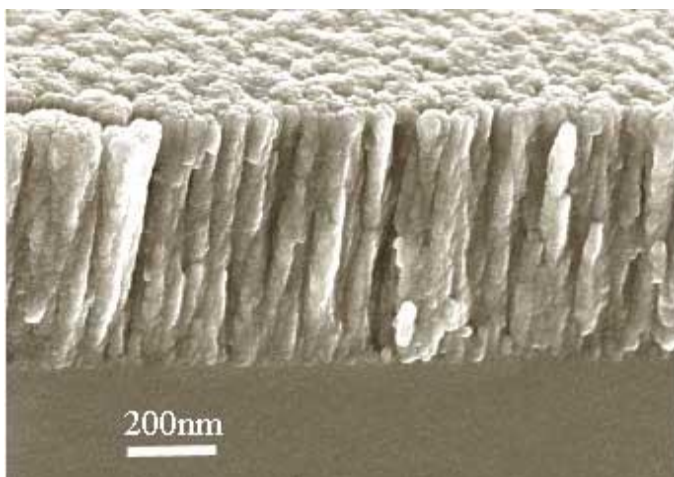


Рисунок 1.21 — Фотография аморфного кремния, полученная с помощью электронного микроскопа

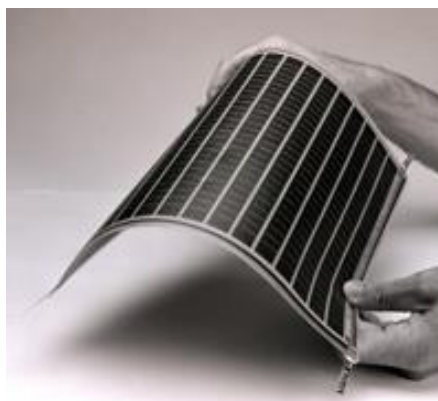


Рисунок 1.20 — Элемент и солнечный модуль из аморфного Si

Чтобы повысить стабильность свойств фотоэлементов в качестве полупроводника используют не аморфный кремний, но двухфазный материал, содержащий включения микро или нано кристаллов кремния в аморфной матрице, который в литературе называют «микроморфный» кремний.

Эти устройства обладают более высокой эффективностью и стабильностью, чем устройства на основе только аморфного кремния.

Тонкопленочный модуль представляет собой многослойную структуру: подложкой является float-стекло (термополированное), на нем контактный слой из оксида цинка (ZnO). Пленка служит промежуточным отражателем.

Благодаря неровностям между оксидом и последующим кремниевым слоем, свет больше рассеивается и дольше остается внутри фотоэлемента, тем самым повышается его КПД. Кремниевый слой представляет собой тандем из аморфной и микроморфной форм этого материала. Благодаря такому сочетанию преобразуется практически весь спектр солнечного света: аморфный кремний поглощает зеленый и синий свет, микроморфный – красный и ближний ИК диапазон. Применяемая технология повышает в 1,5 раза эффективность фотоэлементов. А также позволяет использовать в 200 раз меньше кремния при производстве, в итоге снижается стоимость конечного продукта.

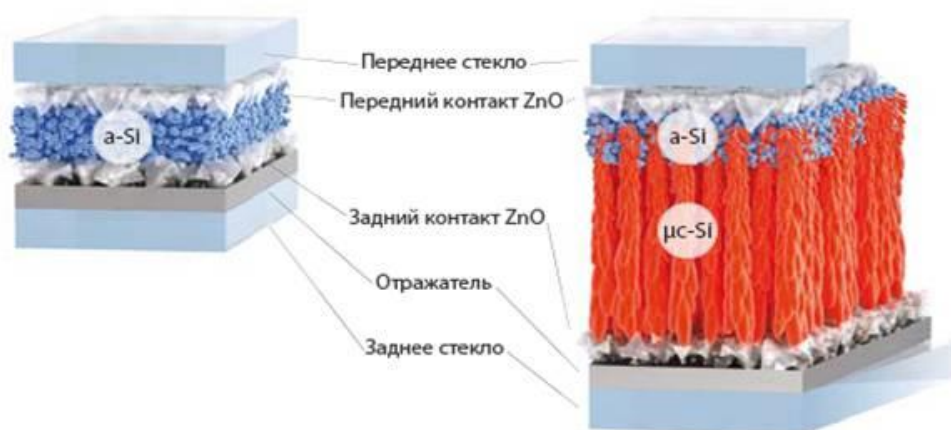


Рисунок 1.22 — Структура микроаморфного кремния

- Фотоэлементы на основе кристаллических пленок CdTe

Теллурид кадмия является одним из перспективных материалов для производства высокоэффективных и дешевых солнечных модулей. Этот материал является прямозонным полупроводником с большим коэффициентом оптического поглощения ($\sim 10^5 \text{ см}^{-1}$) в видимом диапазоне и имеет почти идеальную ширину запрещенной зоны (1,5 эВ) для ячеек с одним переходом. Благодаря этому пленка CdTe толщиной всего несколько микрон поглощает $\sim 90\%$ солнечного излучения. Рекордная эффективность ячейки на основе CdTe составляет 16,5%, модуля коммерческого размера – 11%.

Пленки этого материала наносятся на стеклянную подложку, покрытую проводящим прозрачным слоем в вакууме в камере с малым расстоянием между источником и подложкой.

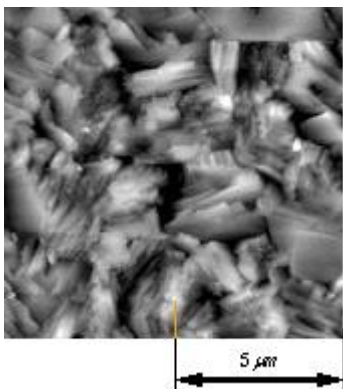


Рисунок 1.23 — Фотография поверхности пленки CdTe, нанесенной на стекло

Пленки CdTe достаточно дешевы в изготовлении. Кроме того, технологически несложно получать разнообразные сплавы CdTe с Zn, Hg и другими элементами для создания слоев с заданными свойствами.

Основными недостатками этих фотоэлементов являются экологические и медицинские проблемы, связанные с вредным влиянием кадмия. Однако проведенные исследования показывают, что все требования безопасного производства и утилизации этих фотоэлементов могут быть соблюдены при вполне умеренных затратах.

На изготовление СЭ площадью 1 м² сегодня требуется около 10г теллура и 9г кадмия. Сегодня при КПД около 10% для генерации 1 ГВт требуется 100 т Те. Рассмотрим основные используемые материалы:

Кадмий:



Рисунок 1.24 — Кадмий

Теллур:



Рисунок 1.25 — Солнечный модуль на основе CdTe

Тонкопленочные СЭ на основе поликристаллических слоев CdTe стабильны и обладают эффективностью до 16.4% при освещенности AM 1.5. Для этих панелей возможно получение низкого отношения вес/мощность.

Это позволяет говорить о возможности применения тонкопленочных панелей на основе CdTe в космосе. Для космического применения важно иметь модуль с легкой и одновременно гибкой подложкой.

-Фотоэлементы на основе кристаллических пленок $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ (CIGS)

Тонкопленочные солнечные элементы (СЭ) с активным слоем на основе поликристаллических пленок полупроводников $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ (CIGS), обладающих коэффициентом поглощения свыше 15 см^{-1} в ближней ИК и видимой области спектра, являются фотопреобразователями нового поколения. Высокая способность к поглощению солнечного излучения у плёнок CuInGaSe_2 (CIGS) позволяет создавать тонкопленочные СЭ с КПД до 14.5%. CIGS-солнечные элементы на недорогих и стабильных керамических подложках являются перспективными с точки зрения снижения затрат на фотоэнергетику и разработку элементов строительных конструкций (например, крыша из «солнечных» плит), способных генерировать электрическую энергию.

Традиционные Si СЭ работают на прямом неконцентрированном солнечном излучении, что требует для их изготовления большого количества полупроводниковых материалов: для установки ФЭС мощностью 1,0 МВт требуется площадь $100 \times 100 \text{ м}^2$ с общим весом кремниевых пластин 50 тонн. Для создания же ФЭС такой же мощности на основе CuInSe_2 тонкопленочных солнечных элементов требуется 15 кг Cu, 27 кг In и 38 кг Se. Полупроводниковые соединения CIGS отвечают всем физическим критериям, необходимым для достижения высокого коэффициента преобразования. Эти материалы поглощают свет лучше, чем Si, даже в тонких пленках толщиной 2 мкм и остаются стабильными при интенсивном облучении, имеют хорошую радиационную стойкость.

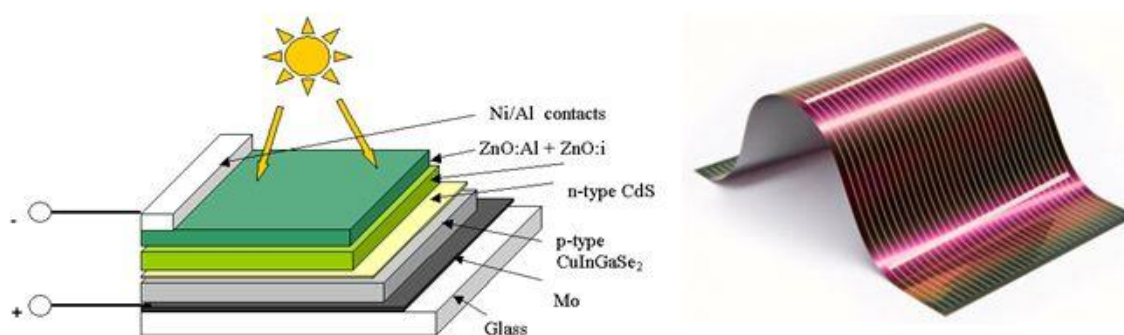


Рисунок 1.26— Структура и внешний вид солнечного элемента на основе CIGS

Лимитирующим сырьевым фактором для CIGS-технологии станет индий. Расход индия на получение 1ГВт составляет 20 тн. Т.о., если предположить, что к 2025 г. солнечная энергетика сможет получить 150-300 т индия (сегодня вся электроника потребляет около 110 тонн/год), то это позволит произвести модулей мощностью 15 ГВт. Это составит 9-10% общего выпуска в 2025 г.

-Фотоэлементы на основе кристаллических пленок III-V групп

Полупроводниковые материалы на основе соединений групп III (Al, Ga, In) и V (N, P As, Sb) известны с 1950 года, а в начале 1960-х годов были созданы и первые фотоэлементы на основе арсенида галлия, которые тут же нашли применение в космических исследованиях благодаря устойчивости к космическому излучению и высокой эффективности фотопреобразования. Из всех соединений групп III-V наиболее широко применяются InP (фосфида индия) и GaAs (арсенид галлия), поскольку они имеют почти идеальную

ширину запрещенной зоны в 1,4 эВ. Наибольшая эффективность на структурах с одним переходом была достигнута на тонкопленочных устройствах, сформированных методом газовой эпитаксии: 25,8% для GaAs и 21,9% для InP.

-Арсенид-галлиевые

ФЭП (фотоэлектрические преобразователи) на основе соединения мышьяка с галлием (GaAs), как известно, имеют более высокий теоретический КПД, чем кремниевые ФЭП.

Вследствие более высокого уровня поглощения солнечного излучения, определяемого прямыми оптическими переходами в GaAs, высокие КПД ФЭП на их основе могут быть получены при значительно меньшей по сравнению с кремнием толщине ФЭП. Принципиально достаточно иметь толщину ГФП 5-6 мкм для получения КПД порядка не менее 20 %, тогда как толщина кремниевых элементов не может быть менее 50-100 мкм без заметного снижения их КПД. Это обстоятельство позволяет рассчитывать на создание лёгких плёночных ГФП, для производства которых потребуется сравнительно мало исходного материала

ГФП обладают также более благоприятными с точки зрения требований к преобразователям СЭС эксплуатационными характеристиками по сравнению с кремниевыми ФЭП. Так, в частности, возможность достижения малых начальных значений обратных токов насыщения в p-n-переходах благодаря большой ширине запрещённой зоны позволяет свести к минимуму величину отрицательных температурных градиентов КПД и оптимальной мощности ГФП и, кроме того, существенно расширять область линейной зависимости последней от плотности светового потока. Экспериментальные зависимости КПД ГФП от температуры говорят о том, что повышение равновесной температуры последних до 150-180 °С не приводит к существенному снижению их КПД и оптимальной удельной мощности. В то же время для кремниевых ФЭП повышение температуры выше 60-70 °С является почти критическим - КПД падает вдвое.

Также ГФП на основе GaAs в значительно меньшей степени, чем кремниевые ФЭП, подвержены разрушению потоками протонов и электронов высоких энергий вследствие высокого уровня поглощения света в GaAs, а также малых требуемых значений времени жизни и диффузионной длины неосновных носителей. Более того, эксперименты показали, что значительная часть радиационных дефектов в ГФП на основе GaAs исчезает после их термообработки (отжига) при температуре как раз порядка 150-180 °С. Если

ГФП из GaAs будут постоянно работать при температуре порядка 150 °С, то степень радиационной деградации их КПД будет относительно небольшой на протяжении всего срока активного функционирования станций (особенно это касается космических солнечных энергоустановок, для которых важны малые вес и размер ФЭП, высокий КПД).

В отличие от кремния, галлий является весьма дефицитным материалом, что ограничивает возможности производства ГФП на основе GaAs в количествах, необходимых для широкого внедрения.

- Фосфид индия

Индий — сравнительно дорогой металл, в земной коре содержится $0,14 \cdot 10^{-4}$ этого металл. Фосфор, несмотря на распространенность и дешевизну в неочищенном виде, стоит после очистки дорого. Кристаллы InP выращивают методом Чохральского, причем во избежание нарушения стехиометрии над расплавом поддерживают высокое давление или покрывают его жидким защитным составом.



Рисунок 1.27 — Аллотропные модификации фосфора

Тонкие слои InP получают химическим осаждением из паров металлоорганических соединений, химическим осаждением из паровой фазы, испарением и планарным реактивным осаждением.

Недостатком устройств на пленках соединений III-V групп является высокая стоимость подложек, обеспечивающих эпитаксиальный рост этих материалов. Кроме этого, эффективность фотопреобразования пленок очень чувствительна к примесям и структурным дефектам, что не позволяет упростить технологию их осаждения и снизить стоимость производства ячеек. Выход из этой ситуации: использовать ячейки с несколькими

переходами, обеспечивающими более полное поглощение солнечного спектра, а также использовать концентрирование солнечной энергии с большой площади на небольшой фотоэлемент. В этом случае вместо дорогостоящего фотоэлемента используется существенно более дешевое концентрирующее устройство, например, линза Френеля. В результате стоимость фотоэлемента снижается пропорционально степени концентрирования солнечного излучения. Современный рекорд эффективности фотопреобразования, достигнутый на структуре с тремя переходами при концентрировании в 364 раза, составляет 41,6%. Увеличение количества гетеропереходов больше 3 приводит к значительному удорожанию фотоэлемента, поэтому основной рынок для высокоэффективных устройств с четырьмя и более гетеропереходами – аэрокосмическая промышленность.

-Третье поколение

Третье поколение фотоэлементов также относятся к тонкопленочным технологиям, однако они лишены привычного понятия p-n перехода, следовательно, и использования полупроводников. В настоящее время это поколение включает в себя разнообразные технологии, однако основным направлением является фотоэлементы на основе органических полимерных материалов.

Преимуществом фотоэлементов третьего поколения является низкая себестоимость и простота изготовления. Главным препятствием на пути популяризации является низкая эффективность, которая не превышает 7%.

- Фотоэлементы на основе органических материалов

В последнее время солнечные элементы на основе органических материалов вызывают все больший интерес, как исследователей, так и компаний, производящих солнечные элементы. Несмотря на то, что эффективность фотопреобразования органических фотоэлементов выглядит довольно скромно по сравнению с неорганическими фотоэлементами, однако эти устройства обладают целым рядом положительных свойств, благодаря которым они составляют реальную конкуренцию неорганическим элементам. К этим свойствам относятся малый расход и низкая стоимость материалов, их экологическая безопасность и дешевая утилизация, очень низкая стоимость производства, гибкость модулей и связанное с этим удобство транспортировки и монтажа.

Недостатком фотоэлементов на основе органических материалов, помимо невысокой эффективности фотопреобразования, является проблема стабильности свойств, присущая сопряженным полимерам.

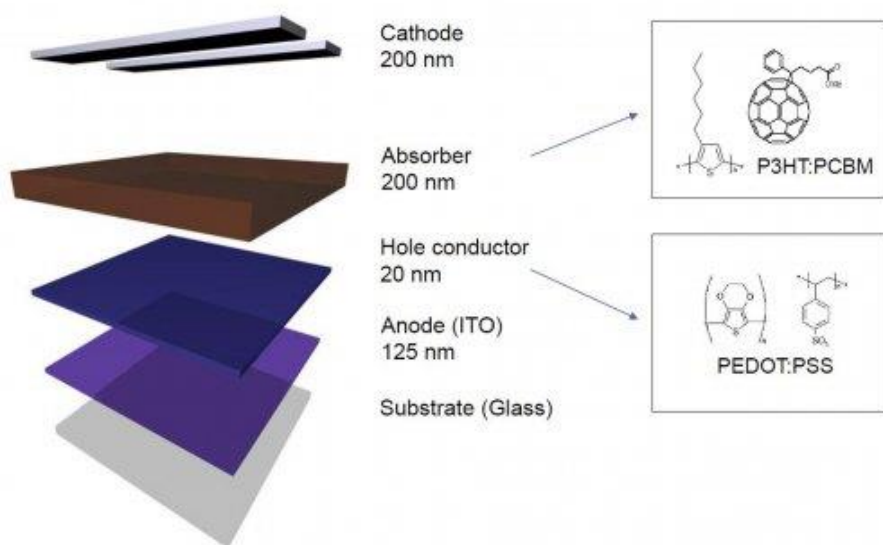


Рисунок 1.28 — Устройство отдельного органического солнечного элемента и материалы, используемые для его создания

Эффективность у данных панелей не велика до 7-8%, но это всё из-за того, что представленные выше органические материалы не поглощают во всём диапазоне длин волн. С одной стороны, это является проблемой, необходимо придумывать более хитрые схемы с двумя совмещёнными панелями, так называемые тандемные солнечные элементы (tandem solar batteries), либо просто сделать панель полупрозрачной и наклеить на окно.

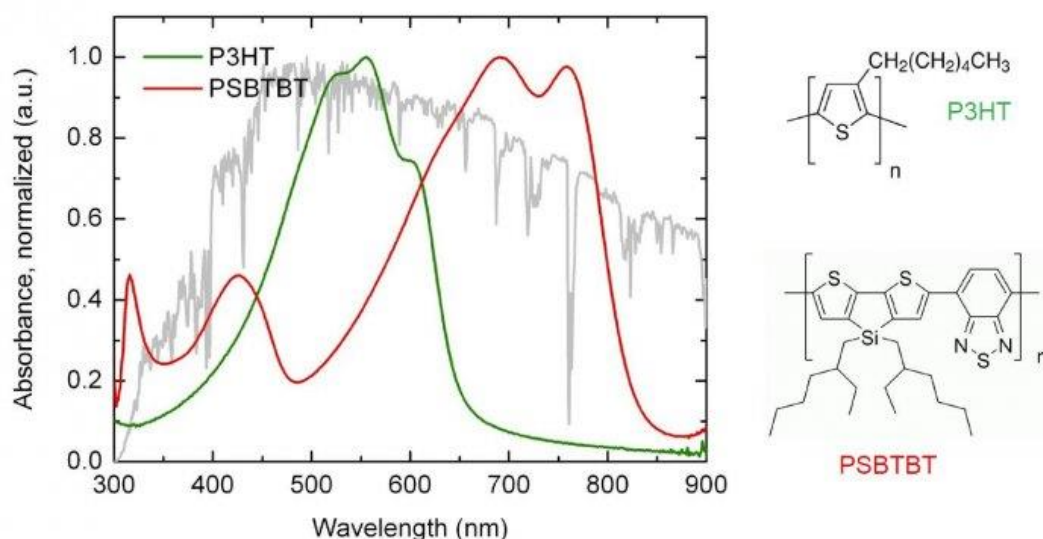


Рисунок 1.31 — Пример спектра поглощения двух органических веществ, используемых при производстве tandemных солнечных элементов

- Фотоэлементы на красителях

Фотоэлементы на красителях также принадлежат к тонкопленочным солнечным элементам. Этот тип фотоэлементов был изобретен в 1991 году швейцарским ученым Гретцелем (Gratzel), и поэтому их еще называются «ячейка Гретцеля». Первая ячейка Гретцеля состояла из анода (толщиной 10 мкм) в виде высокопористого нанокристаллического диоксида титана, поверхность которого покрыта мономолекулярным слоем красителя и который был сформирован на стеклянной подложке, покрытой слоем прозрачного проводящего оксида. Пористый анод пропитывался жидким йодным электролитом. Катодом являлась платина.

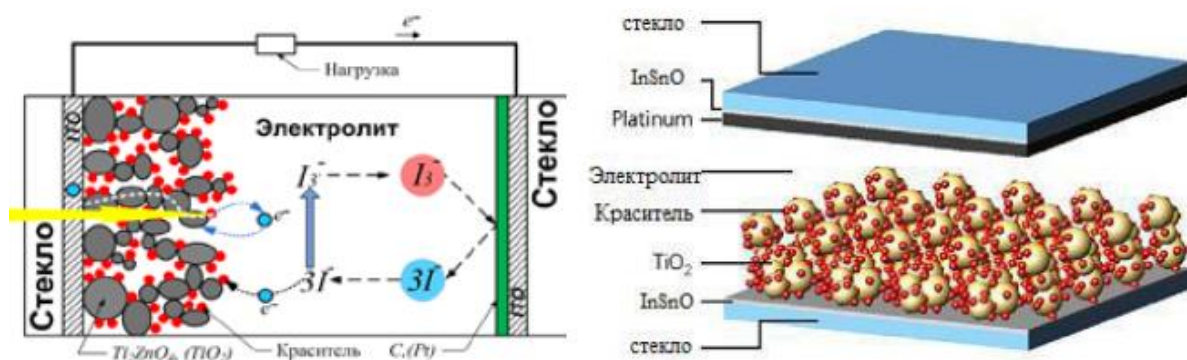


Рисунок 1.32 — Структура солнечной панели на основе красителя и электролита

На рисунке представлена обычная конструкция цветосенсибилизированной солнечной панели: два электрода и электролит. Недостатками ячейки Гретцеля являются высокая коррозионная активность электролита и высокая стоимость платины. Однако эти проблемы не являются фатальными и могут быть найдены эффективные решения для них. Например, вместо Pt уже предложено использовать CoS, также предложены менее агрессивные органические электролиты.

Учитывая невысокую стоимость используемых материалов и простоту технологии, эти фотоэлементы являются привлекательными для массового применения.

Постоянно ведутся исследования по поиску новых более дешевых и/или более эффективных материалов, что позволяет надеяться на повышение эффективности этих структур.

- Квантовые точки

Квантовая точка — фрагмент проводника или полупроводника, ограниченный по всем трём пространственным измерениям и содержащий электроны проводимости. Точка должна быть настолько малой, чтобы были существенны квантовые эффекты.

Объёмное изображение другой гетероструктуры, напоминающей пирамидку показано на рисунке.

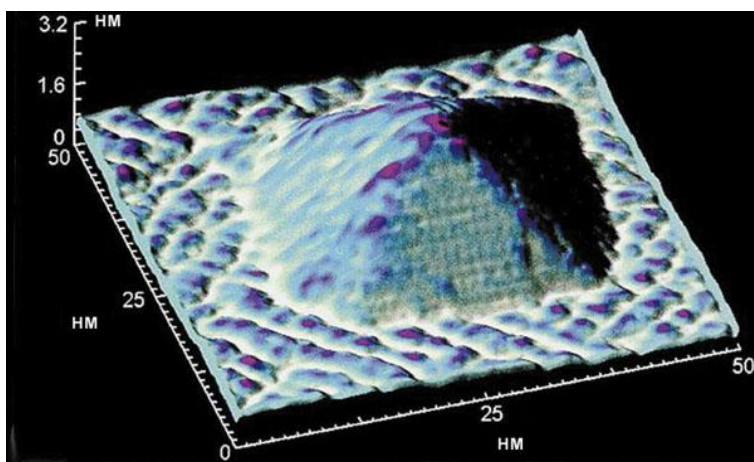


Рисунок 1.33 — Объёмное изображение квантовой точки, представляющей собой пирамидку их атомов германия, спонтанно образовавшуюся на кремниевой подложке

Своими свойствами КТ напоминают атомы — «искусственные атомы» имеющие наноразмеры. Ведь электроны в атомах, переходя с одной орбиты на другую, тоже излучают квант света строго определённой частоты. Но в отличие от настоящих атомов, внутреннюю структуру которых и спектр излучения мы изменить не можем, параметры квантовых точек зависят от нас.

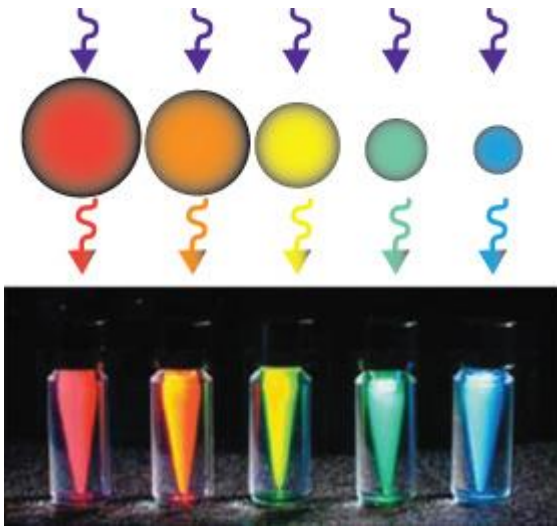


Рисунок 1.34 — Зависимость цвета, которым светятся квантовые точки, от их размера

Для создания солнечных панелей привлекательны следующие свойства коллоидных квантовых точек: возможность контроля эффективной ширины запрещенной зоны, т.е. возможность подстройки спектральных характеристик квантовых точек при варьировании размера под требуемые длины волн; высокая фотостабильность, свойственная неорганическим материалам; растворимость с образованием золей, что позволяет легко манипулировать квантовыми точками.

У органических солнечных элементов имеется ряд преимуществ перед обычными, производящимися промышленно кремниевыми солнечными элементами. Эти преимущества заключаются не только в том, что органические солнечные элементы существенно тоньше и гибче кремниевых, а также тем, что их проще и дешевле производить промышленно. Органические солнечные элементы проще приспособить как для снабжения энергией электронных устройств для повседневного использования, так и для устройств и систем, которые могут не использоваться постоянно. В долгосрочной перспективе органические солнечные элементы могут понизить нашу зависимость от панелей, аккумуляторов и подводящих питание проводов.

3. Основные принципы монтажа солнечных панелей

3.1 Ориентация и углы установки солнечных панелей

Установка фотоэлектрических модулей происходит на специальных конструкциях, которые обеспечивают их оптимальную ориентацию на солнце и надёжное крепление к разным типам поверхностей на местах установки: наземные фундаменты, крыши, а также вертикальные поверхности.

Для максимальной производительности энергии фотоэлектрические модули должны быть смонтированы таким образом, чтобы солнечные лучи падали на рабочую поверхность модуля под углом 90° . Добиться данного требования для солнечных установок возможно только при использовании специальных поворотных конструкций с двухосевой системой слежения за солнцем – трекерных систем (см. ниже). Такие солнечные установки, кроме явных преимуществ в максимальном использовании солнечной энергии, являются достаточно дорогими устройствами, потребляют, хоть и незначительно, но постоянно энергию, требуют большую по площади площадку для установки по сравнению с фиксированными конструкциями. Поэтому обычно идут на компромисс в производительности системы и стоимости конструкции, и в основном в фотоэлектрических системах используют стационарные конструкции.

Такие конструкции ориентируют на юг, с незначительными отклонениями по азимуту (см. диаграмму), а также устанавливают с фиксированным, или изменяемым углом наклона.

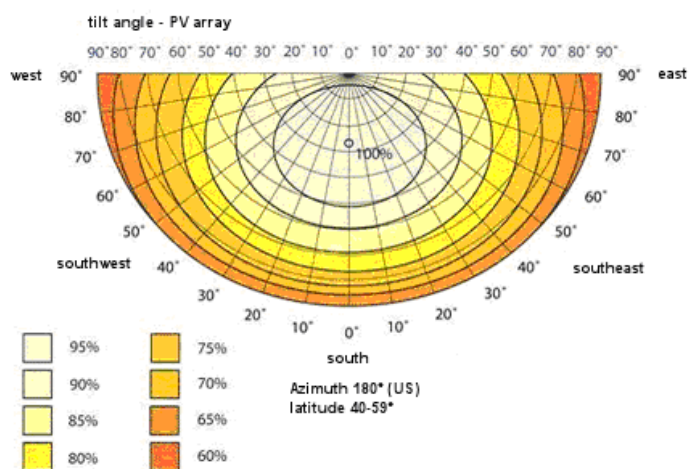


Рисунок 2.1

3.2 Производительность энергии фотоэлектрической системы в зависимости от типа монтажной конструкции

Оптимальный угол наклона солнечных панелей зависит от широты местности, а также может быть изменен в зависимости от того, какой оптимизации в производстве энергии необходимо добиться. Так, он может быть уменьшен от оптимального значения, если фотоэлектрическая система работает в летний период (летний оптимум), увеличен, если фотоэлектрическая система эксплуатируется в основном в осенне-зимний период, или принят средним по значению, если фотоэлектрическая система предназначена для круглогодичной эксплуатации.

Приведенный ниже график показывает влияние регулировок угла наклона на производительность. Бирюзовая линия показывает количество энергии, которую можно получать каждый день, если установка солнечных панелей произведена на фиксированный оптимальный угол наклона. Красная линия показывает количество солнечной энергии, которую можно получить при регулировании угла наклона четыре раза в год. Фиолетовая линия показывает количество солнечной энергии в день, если солнечные панели установлены на зимний угол. Для сравнения, зеленая линия показывает энергию, которую вы получили бы от двухосевой трекерной системы слежения, которая всегда ориентирует панели прямо на солнце. Цифры даны для 40 ° широты

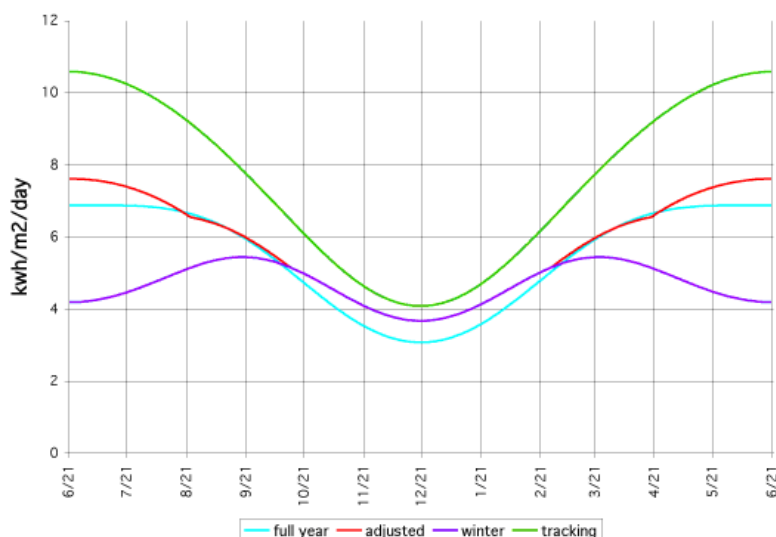


Рисунок 2.2

Широта	Летний угол	Зимний угол	% от оптимального (2-осевого трекера)
--------	-------------	-------------	---------------------------------------

25 °	2,3	41,1	76%
30 °	6,9	45,5	76%
35 °	11,6	49,8	76%
40 °	16,2	54,2	75%
45 °	20,9	58,6	75%
50 °	25,5	63,0	74%

При регулировании угла наклона солнечных панелей четыре раза в год на широте между 25 ° и 50° лучшими углами наклона будут:

- для лета числовое значение широты умножить на 0,92, и вычесть 24,3 градуса.
- для весны и осени числовое значение широты умножить на 0,98, и вычесть 2,3 градуса.
- для зимы числовое значение широты умножить на 0,89, и добавить 24 градуса.

Широта	Летний угол	Весенний/ осенний угол	Зимний угол
25 °	-1,3	22,2	46,3
30 °	3,3	27,1	50,7
35 °	7,9	32,0	55,2
40 °	12,5	36,9	59,6
45 °	17,1	41,8	64,1
50 °	21,7	46,7	68,5

Оптимальное время для изменения угла наклона на летний период –18 апреля, на осенний период – 24 августа, на зимний период - 7 октября, на весенний период - 5 марта.

В зимний период солнечные панели, при зимнем угле наклона, будут ориентированы достаточно эффективно, захватив от 81 до 88 процентов энергии по сравнению с трековой системой. Такой угол наклона является хорошим решением в тех местах, где зимой нагрузка больше, чем летом. Весной, летом и осенью эффективность будет ниже (74-75% весной / осенью, и 68-74% летом), потому, что в эти сезоны солнце проходит большой участок неба, и фиксированная панели не может захватить быть направлена на него под углами, приближающимися к 90 °, значительную часть дня. Это как раз время года, в котором трековые системы слежения дают наибольший эффект.

Заметим, что зимой угол примерно на 5° круче, чем то, что обычно рекомендуется. Причина в том, что в зимнее время, большая часть солнечной энергии приходится на полдень, так что фотоэлектрические модули следует ориентировать почти прямо на солнце в полдень. Угол доработан, чтобы получить наиболее полную энергию в течение дня.

Если конструкция фотоэлектрических систем позволяет регулировать угол наклона каждый месяц, то для расчета его значения на широте L принимаются такие величины.

С весеннего равноденствия до осеннего равноденствия –

угол равен широте L на 22 марта и 22 сентября (равноденствие)

угол равен $(L-5^\circ)$ на 3 апреля и 9 сентября (в т. ч. ближайšie 2 недели разницы)

угол равен $(L-10^\circ)$ на 17 апреля и 26 августа (в т. ч. ближайšie 2 недели разницы)

угол равен $(L-15^\circ)$ на 1 мая и 12 августа (в т. ч. ближайšie 2 недели разницы)

угол равен $(L-20^\circ)$ на 22 мая и по 22 июля (в т. ч. ближайšie 2 недели разницы)

угол равен $(L-23.5^\circ)$ на 22 июня (летнее солнцестояние)

С осеннего равноденствия до весеннего равноденствия –

угол равен широте L на 22 марта и 22 сентября (равноденствие)

угол равен $(L +5^\circ)$, на 6 октября и 7 марта (в т. ч. ближайšie 2 недели разницы)

угол равен $(L +10^\circ)$ на 19 октября и по 22 февраля (в т. ч. ближайšie 2 недели разницы)

угол равен $(L +15^\circ)$, на 3 ноября и 8 февраля (в т. ч. ближайšie 2 недели разницы)

угол равен $(L +20^\circ)$ на 23 ноября и 23 января (в т. ч. ближайšie 2 недели разницы)

угол равен $(L +23.5^\circ)$ на 22 декабря (зимнее солнцестояние)

Углы наклона для некоторых широт, в зависимости от времени года, представлены на графике

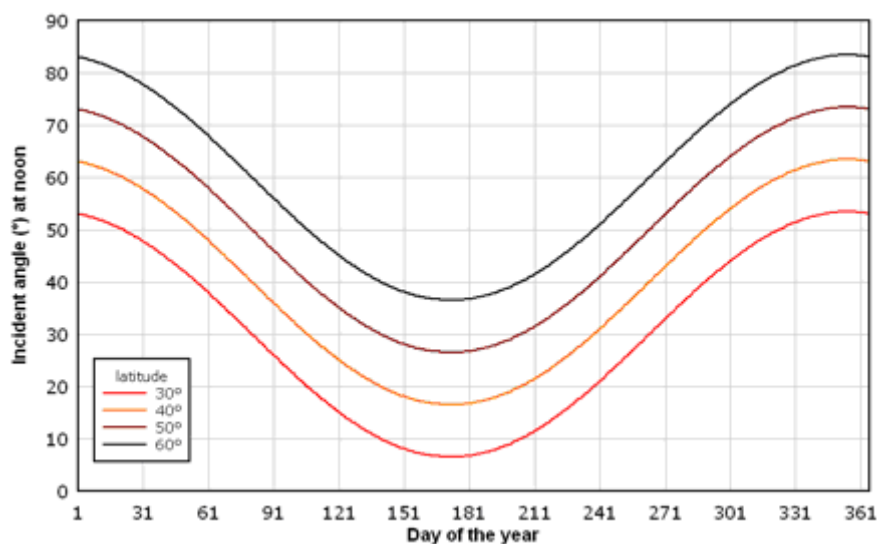


Рисунок 2.3

При расположении конструкций солнечных панелей в несколько рядов, кроме правильной ориентации и угла наклона, очень важным является правильно выбрать расстояние между рядами, чтобы не происходило взаимного затенения поверхности модулей. Для средней полосы, при оптимальном фиксированном угле наклона, зачастую используется простая формула $d = 3w$, где d - расстояние между рядами, и w - высота панели под оптимальным углом наклона.

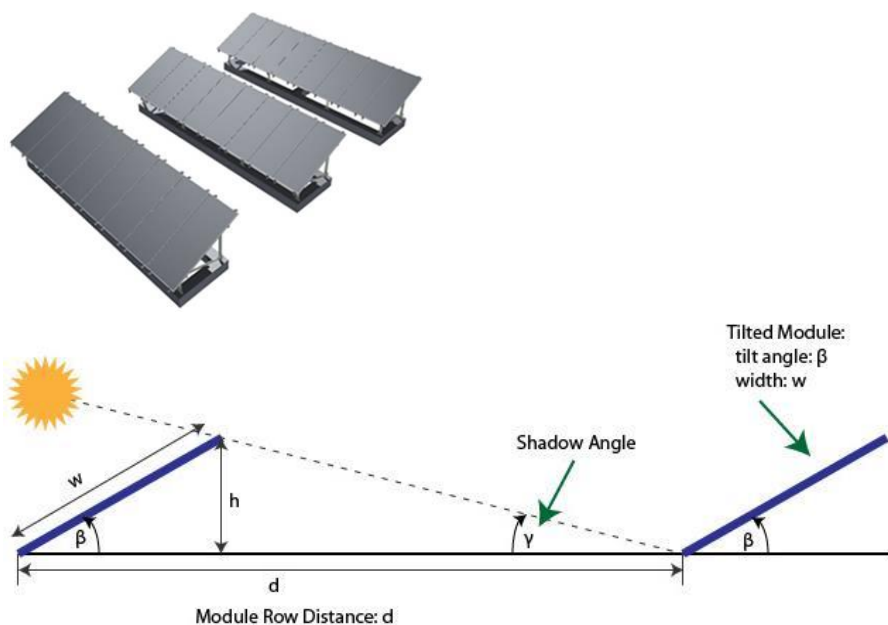


Рисунок 2.4

При углах наклона, близких к 30° , коэффициент использования площадки под фотоэлектрическую систему составляет 33%.

Приведенные данные являются обзорными, собраны из разных источников, и немного отличаются по значению, так как рассчитывались по разным

методикам. Основная задача - дать представление о том, насколько оптимально может работать фотоэлектрическая система в зависимости от ориентации и угла наклона солнечных панелей.

4. Виды конструкций для монтажа солнечных панелей

4.1 Конструкции для наземного монтажа солнечных панелей

Для наземного монтажа солнечных панелей конструкции изготавливаются из оцинкованного железного профиля, собранного в единую конструкцию для крепления одного или группы из нескольких модулей в вертикальной, или горизонтальной плоскости. Такие конструкции устанавливают на бетонный фундамент.

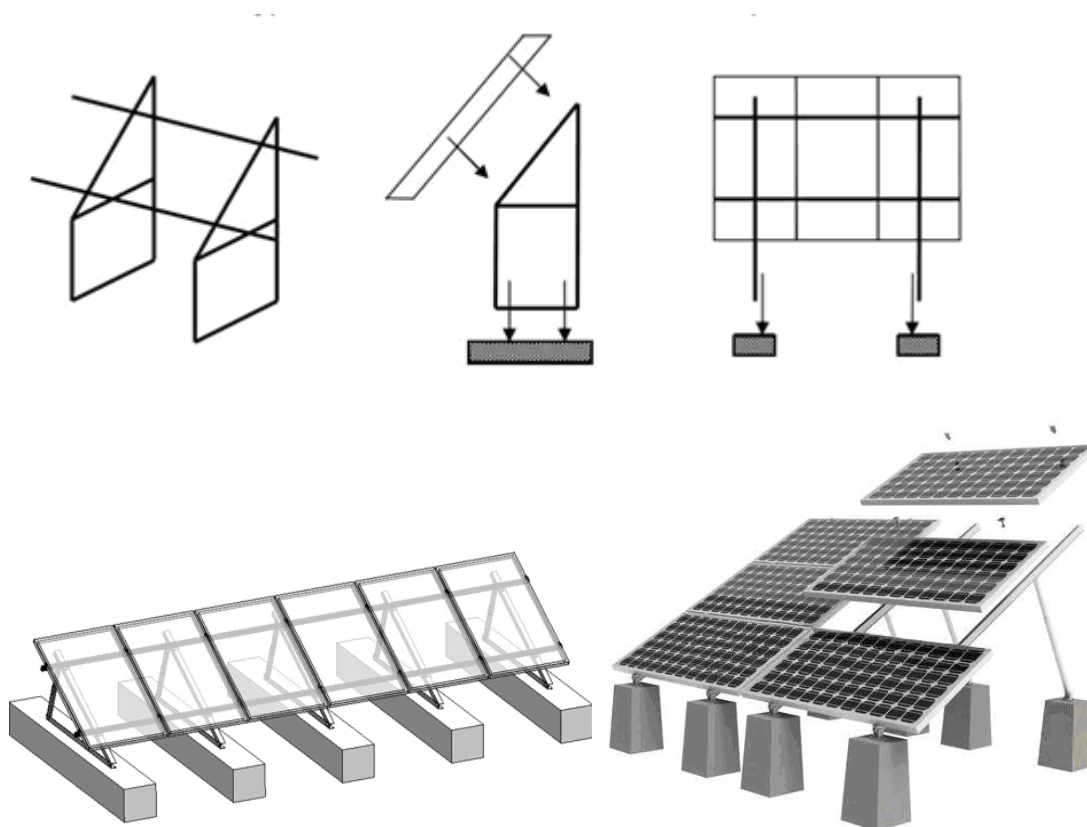


Рисунок 2.5



Рисунок 2.6 — Система автономного электроснабжения мощностью 750 Вт: центральная библиотека в Марьиной Горке, Пуховичский р-н;

Трекерная система слежения за солнцем

Кроме стационарных конструкций для установки фотоэлектрических модулей на земле, существуют также поворотные в одной, или двух плоскостях конструкции для систем слежения за солнцем – трекерные системы. Использование трекеров позволяет максимально эффективно сориентировать активную поверхность солнечных панелей и значительно увеличить производительность энергии в сравнении с фиксированным размещением на неподвижных металлоконструкциях – до 30 – 40%.

Одноосные солнечные трекеры следят за солнцем от восхода до заката, при его движении в течении дня с востока на запад.

Ось может быть ориентирована таким образом, что панель стоит под постоянным к горизонту углом (трекер с полярной осью вращения) или угол относительно горизонта меняется (называется трекером с горизонтальной осью вращения). Горизонтальная ось вращения более подходит для местности в небольших широтах (местах, находящихся ближе к экватору), в то время трекеры полярной осью больше подходят для больших широт.



Рисунок 2.7 — Одноосный трекер с полярной осью вращения

Преимущество одноосных трекеров в том, что они являются менее сложными и, таким образом, более дешевыми. В местах, расположенных ближе к экватору, где траектория движения Солнца по небу изменяется не сильно в течение дня, одноосные трекеры являются особенно эффективными.

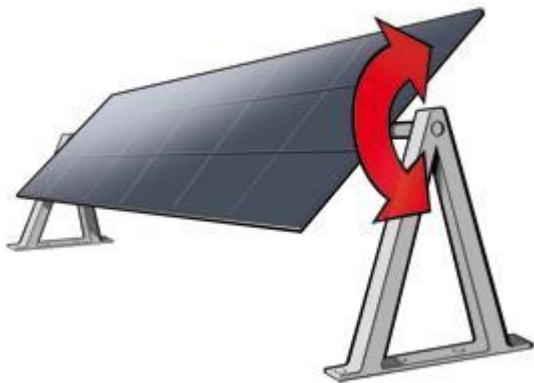


Рисунок 2.8 — Одноосевой трекер с горизонтальной осью вращения

Одноосевые горизонтальные трекеры также структурно более прочные, и, следовательно, менее вероятно, что они будут повреждены во время ураганов и штормов.

В дополнение к обычным вариантам одноосевых, была разработана новая технология солнечных фотоэлектрических под названием Трубоччатые солнечные панели, где форма фотопреобразователей цилиндрическая, позволяя элементам поглотить максимальное количество световой энергии.



Рисунок 2.9

Двухосевые солнечные трекеры:

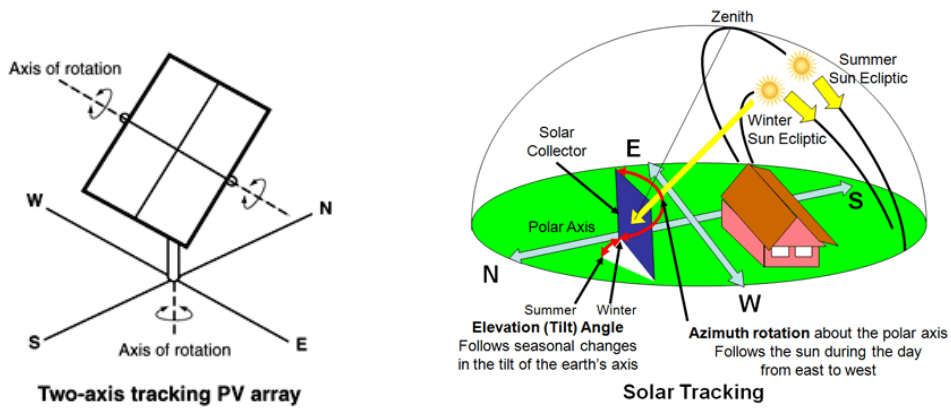


Рисунок 2.10

Итак, рассмотрим строение солнечного трекера. Типичная система состоит из:

- базовой конструкции (неподвижная наземная часть трекера);
- подвижной части (имеет одну или две оси вращения, электрический привод, редукционный блок);
- системы управления трекером, интерфейса для соединения с ПК;
- инвертора для преобразования низковольтного тока от солнечных панелей в ток, который используется двигателем;
- системы крепления фотоэлектрических модулей.

Опционально трекеры могут включать:

- систему защиты (громоотвод, защита от перегрузок, прибор для измерения скорости ветра, система защиты от ураганов и т. д.);
- систему удаленного доступа;
- систему навигации (определение географических координат, высоты над уровнем моря для совершенного слежения за солнцем).

Ориентация по солнцу

Трекер может ориентироваться по солнцу тремя способами:

Способ 1 — вручную. Примитивный, самый надежный — оператор выполняет сезонную ориентацию трекера вручную. Этот способ наименее эффективен, но отсутствие измерительной аппаратуры и минимум подвижных частей делают его максимально надежным. Неполадки в механических частях возникают редко.

Способ 2 — фотодатчики. Способ распространенный, ненадежный. Заключается в сочетании двух-трех фотоэлектрических датчиков, расположенных под углом 45° относительно плоскости панели, то есть под углом 90° относительно друг друга. Размещение датчиков показано на рисунке ниже.

Датчики размещены в оболочках таким образом, чтобы воспринимался лишь узкий луч света. Когда плоскость солнечной панели перпендикулярна солнечному свету, то на каждый датчик попадает одинаковый луч, следовательно, напряжение на всех датчиках одинаково. Когда солнце смещается, то напряжение на датчиках начинает отличаться, и система управления включает привод, пока тот не откорректирует положения панели так, чтобы напряжение датчиков снова было одинаковым. Принцип работы системы несложный, но совсем не надежен.

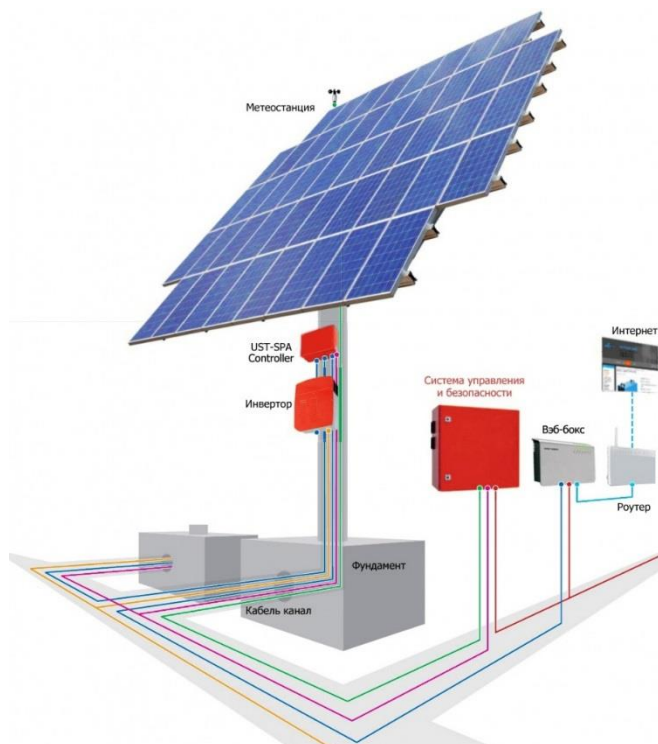


Рисунок 2.11

Система управления с фотодатчиками имеет два существенных недостатка: во-первых, датчики часто загрязняются, в результате чего перестают работать, требуют калибровки. Вторым недостатком является то, что система не работает в пасмурную погоду. Механические неполадки — довольно частое явление для данного типа привода.

Способ 3 — программный. Автономная система управления солнечными панелями программируется согласно циклам движения солнца. Система наиболее надежная среди использующих электрические приводы, почти не требует вмешательства операторов. Изменения программы выполняются быстро, при необходимости удаленно. Именно такие системы обычно используются в промышленных солнечных электростанциях.

Солнечные фотоэлектростанции

Для увеличения КПД фотоэлектрических преобразователей трекеры используются довольно редко, в основном тогда, когда площадь расположения солнечных панелей очень ограничена, требуется максимальная генерация тока. Могут использоваться одно- и двухосевые трекеры. Соотношение стоимости и эффективности трекеров определяет оптимальную мощность размещаемых на них фотомодулей, которая может составлять от единиц до десятка киловатт.

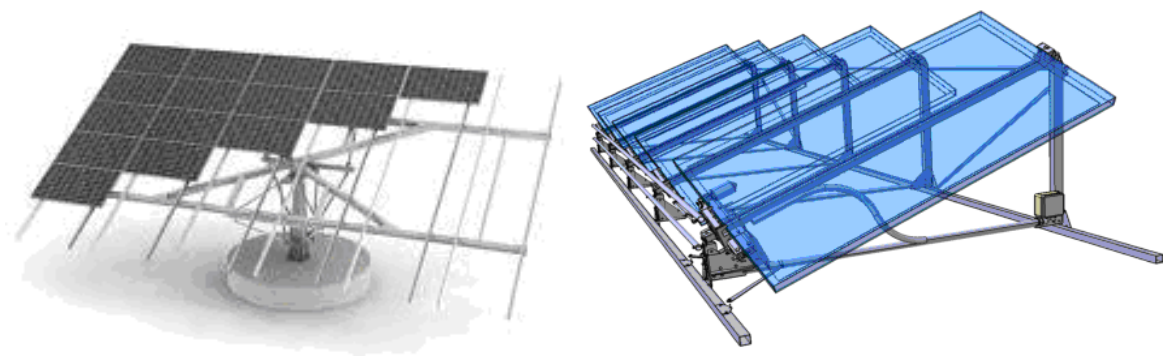


Рисунок 2.12

Конструктив трека должен обеспечивать способность выдерживать сильные ветровые нагрузки при его работе в составе энергосистемы. С увеличением размеров рабочей поверхности полезной нагрузки увеличивается парусность комплекса. Вес полезной нагрузки тоже имеет значение. Поэтому проектировщикам часто приходится в своих решениях перераспределять нагрузки на трекер, увеличивая габариты системы. Надёжность при этом является определяющим фактором.



Рисунок 2.13

4.2 Конструкции для монтажа солнечных панелей на крышах

Для монтажа фотоэлектрических модулей на плоских крышах используют конструкции из алюминиевого профиля с опорными элементами из нержавеющей стали. На таких конструкциях монтируют панели в один, или несколько ярусов, ориентируя в горизонтальной или вертикальной плоскости.

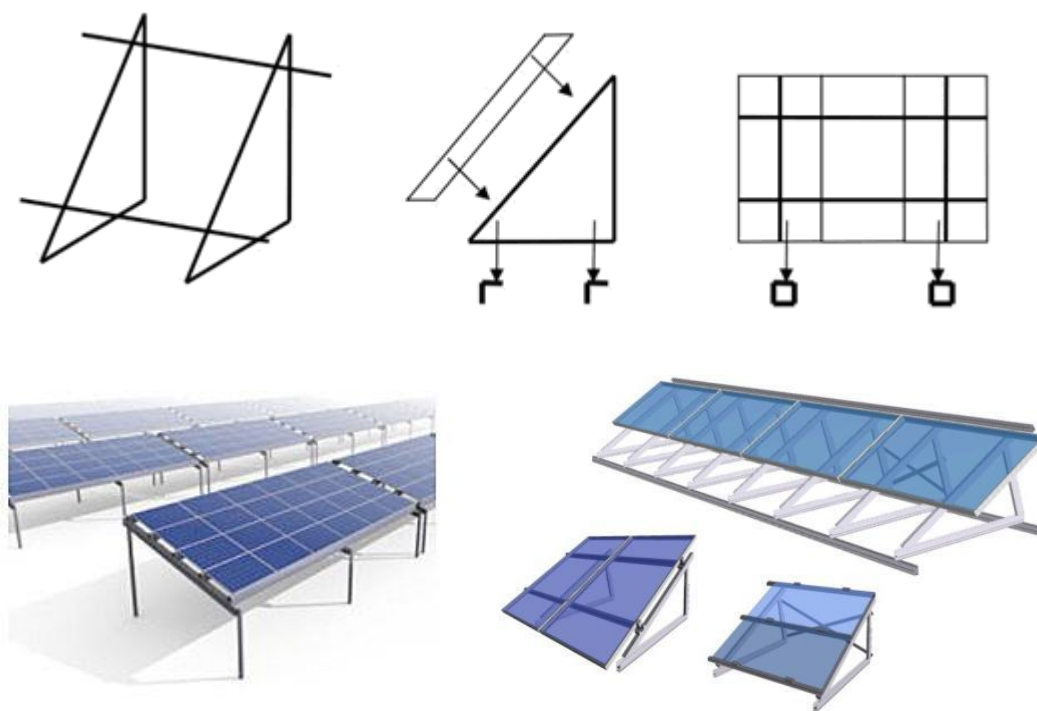


Рисунок 2.14



Рисунок 2.15 — Установка по производству электрической энергии из возобновляемых источников энергии (солнце) мощностью 10 кВт по адресу: г. Брест, ул. Луцкая;

На наклонных крышах, ориентированных на юг по азимуту и углу наклона, близкому к оптимальному, монтаж солнечных панелей происходит на алюминиевых профилях, закрепленных на опорных элементах в/на кровле.

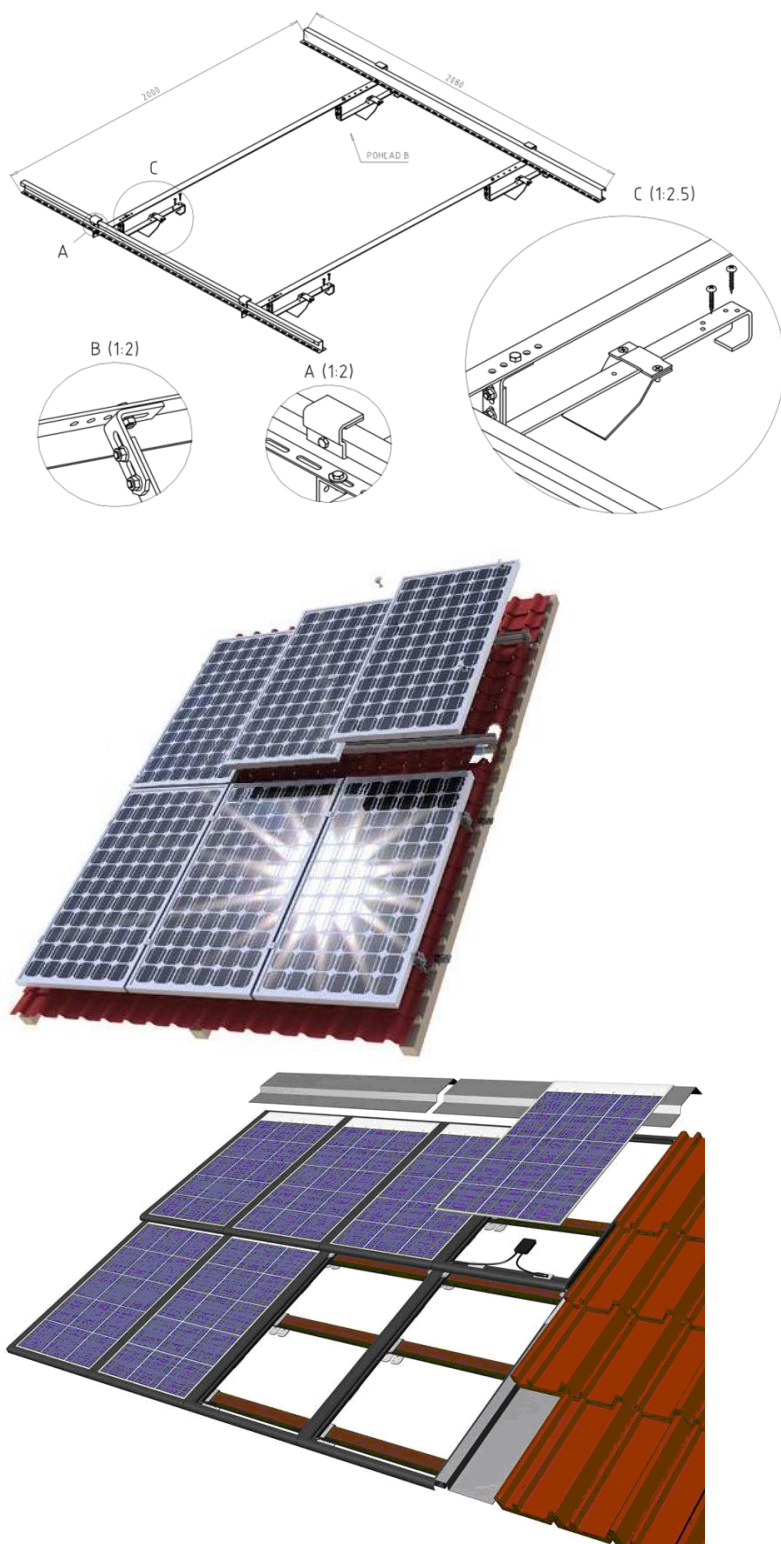
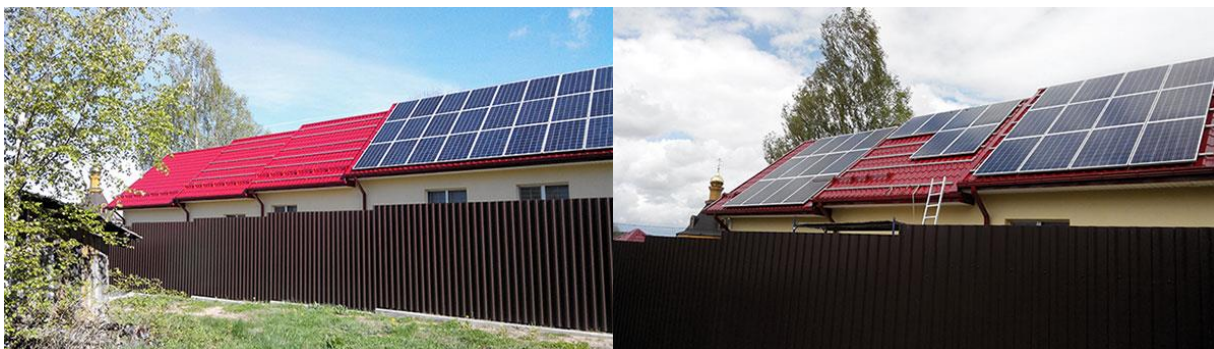


Рисунок 2.17



*Рисунок 2.18 — Увеличение мощности коммерческой СЭС до 19 кВт *ч. на крыше гостиничного комплекса д. Азино, Витебская обл.*

5. Нестандартные системы монтажа солнечных панелей для поддержки современных архитектурных решений

5.1 Мобильные конструкции для солнечных панелей

Конструкции под фотоэлектрические модули для мобильного применения должны обладать возможностью оперативно разворачиваться и ориентировать модули на солнце, а также быть достаточно компактными для транспортировки. Их изготавливают из алюминиевого профиля, с крепежными элементами из нержавеющей стали, применяя поворотные узлы, позволяющие изменять геометрию конструкции и ориентацию всей системы, или отдельных элементов.



Рисунок 2.19

На такие конструкции накладываются определенные ограничения, связанные с массогабаритными характеристиками всей системы, а также условий её транспортирования и приведения в рабочее состояние.

Итак, как было рассмотрено выше, производительность фотоэлектрических систем напрямую зависит от того, насколько правильно произведена установка солнечных панелей и подобраны конструкции под них. Выбор и расчет конструкции для фотоэлектрической системы является таким же важным элементом для получения максимального выхода энергии от нее, как и остальные элементы системы – фотоэлектрические модули и инверторы.

5.2 Фотоэлектрические модули, интегрированные в ограждающие конструкции зданий

Активное использование источников возобновляемой энергии способствует все более широкому применению солнечных элементов в облицовке здания. Фотоэлектрические модули (PV), интегрированные в ограждающие конструкции здания, принимают на себя новые функции, не ограничиваясь лишь производством электроэнергии. Одновременно растут и становятся более жесткими требования, предъявляемые к этим системам.

Фотоэлектрические модули предлагаются в виде плоских или гибких поверхностей с ячеистой или многослойной структурой. Их можно встраивать в любую часть оболочки здания, и благодаря своим характеристикам (размеры, гибкость, форма и внешний вид) они могут являться элементом дизайна. Фотоэлектрические модули используют с традиционными для архитектуры материалами – стеклом и металлом, – причем как в непрозрачном, так и в полупрозрачном варианте.

Большая часть фотоэлектрических модулей разрабатывается как исключительно вспомогательные элементы, призванные лишь производить энергию. Типоразмеры модулей оптимизируются для сбора энергии и облегчения процесса сборки, а вопросам их интеграции в архитектуру и конструкцию здания уделяется крайне мало внимания. По этой причине их монтаж и эксплуатация вызывают много вопросов. Основным источником проблемы является недостаточно высокая компетентность производителей фотоэлементов, связанная, как правило, с отсутствием соответствующих стандартов.

Фотоэлектрические модули должны разрабатываться в соответствии с определенными технологическими требованиями и вместе с тем должны совмещать в себе функции ограждающей конструкции (чтобы их можно было легко вмонтировать в кровлю, фасад, парапет и т. д.), быть надежными

и безопасными. Встраиваемый модуль должен отвечать более высоким требованиям, нежели традиционный (с точки зрения теплового и механического сопротивления). Это крайне важно особенно в современных условиях, когда стандарты, регулирующие данный вопрос, отсутствуют. Цель нашей работы – помочь производителям и проектировщикам с проведением испытаний для изготовления новых прототипов модулей фотоэлектрических систем, которые было бы возможно интегрировать в ограждающие конструкции новых или существующих зданий.

Фотоэлектрические модули как часть ограждающей конструкции здания

Фотоэлектрические модули и установки являются автономными устройствами, изначальная функция которых заключается в преобразовании солнечной энергии в электрическую. По этой причине традиционные фотоэлектрические системы рассматриваются только как генераторы фотоэлектрической энергии.

Насущная проблема в сфере фотоэлектрических систем заключается в том, что, с одной стороны, рынок требует экономичных решений с использованием фотоэлектрических систем (стоимость модуля на ватт пиковой нагрузки), а с другой стороны, производители должны самостоятельно разрабатывать новое оборудование, затрачивая на это значительные суммы. Теоретически фотоэлектрические системы можно использовать на любом участке ограждающей конструкции здания, который подвергается воздействию прямых солнечных лучей. Обычно их размещают на кровле, фасадах и солнцезащитных козырьках. Для монтажа фотоэлектрических систем применяются три метода: добавление фотоэлектрических модулей, замена части ограждающих конструкций и интеграция модулей в ограждающие конструкции. При их использовании следует учитывать особенности ограждающих конструкций, архитектуру, а также энергетические характеристики здания. К примеру, модуль из полупрозрачного двустороннего стекла при использовании его на застекленном фасаде должен также выполнять функции изолирующего элемента с требуемыми характеристиками тепловой изоляции, регулирования инсоляции, защиты от бликов и т. д.



Рисунок 2.20

Добавленные и интегрированные фотоэлектрические панели

Существует два основных варианта применения фотоэлектрических панелей в здании:

- добавление фотоэлектрических панелей поверх ограждающей конструкции здания (building added photovoltaics, BAPV);
- замена частей ограждающих конструкций здания встраиваемыми фотоэлектрическими панелями (building integrated photovoltaics, BIPV).



Рисунок 2.21

— Здание оперы, Осло (Норвегия); проект Snohetta. Общий вид снаружи и элемент полосы из двустороннего стекла, являющейся фотоэлектрическим модулем

Если говорить об элементах, монтируемых поверх ограждающих конструкций, BAPV, то обычно для этих целей применяют традиционные фотоэлектрические модули с соответствующими системами монтажа. BAPV-модули включают в себя широкий спектр фотоэлектрических элементов, устанавливаемых на фасаде здания, а также ряд традиционных фотоэлектрических систем для монтажа на кровле – обычно после завершения строительства. К фотоэлектрическим модулям обычно не выдвигаются специальные требования, поскольку они не несут каких-либо дополнительных функций для здания. Достаточно проведения лишь ряда испытаний ИЕС с небольшими корректировками.

При этом фотоэлектрические модули, призванные заменить традиционные элементы ограждающих конструкций здания, должны компенсировать все функции удаляемого элемента. Это означает, что модуль, встраиваемый в ограждающие конструкции, BIPV должен удовлетворять большему числу требований, чем стандартный фотоэлектрический модуль. Стандарты, регулирующие этот вопрос, в настоящее время отсутствуют. По этой причине система должна соответствовать нескольким нормативам: стандарту по электротехническим требованиям (см. Директиву по низковольтному оборудованию 2006/95/ИЕС или стандарты CENELEC), а также стандартам по строительным изделиям (см. Директиву ЕС по строительным изделиям CPD 89/106/ЕЕС, например EN ISO 12543).



Рисунок 2.22 — Размещение модуля поверх конструкции. Каждый модуль можно испытывать отдельно, т. к. их работа не связана друг с другом



Рисунок 2.23 — Фотоэлектрическая установка, все элементы которой являются частью кровли здания (Ферма в Морисвиле)



Рисунок 2.24

Однако если соответствие стандартам ИЕС гарантируется производителем фотоэлектрического модуля и указывается в его паспорте, то строительные требования до сих пор не включены в процедуру сертификации и маркировки модулей. Для единообразия стандартов CENELEC запустил проект «prEN 50XXX: Фотоэлектрические элементы зданий» (CLC/TC 82), который основан на работе Технического комитета по электротехнической стандартизации и целью которого является «подготовка европейских стандартов для систем и элементов преобразования солнечной энергии в электрическую, а также для всех составляющих единой фотоэлектрической системы». В проекте стандарта определено несколько категорий его

применения, которые подразделяются в соответствии с обязательными требованиями Директивы ЕС по строительным изделиям: механическая прочность и надежность, пожаробезопасность, санитарно-гигиенические и экологические требования, безопасность эксплуатации, защита от шума, энергоэкономичность и теплозащита.

Для ликвидации этого пробела и помощи производителям фотоэлектрических систем в вопросе сертификации качества продукции Швейцарский центр испытаний фотоэлектрических модулей разрабатывает VIPV-методику, которая должна охватывать все законодательные требования ЕС. Прежде всего, интегрированные фотоэлектрические модули не должны рассматриваться как автономные элементы; они являются частью ограждающей конструкции здания (к примеру, черепица на кровле). Результаты проводимых испытаний должны убедить домовладельцев в том, что встроенные в кровлю фотоэлектрические модули, например «солнечная черепица», восполняют функции ограждающей конструкции по механической прочности, пожарной безопасности и герметичности всей системы. Крайне важную роль играют также элементы крепежа, для которых тоже необходимо проводить специальные испытания. Испытание на прочность «солнечной черепицы». В стандарте IEC 61215 описан процесс испытания фотоэлектрических модулей, встраиваемых в кровлю здания (таких как «солнечная черепица»). Для этого под нагрузкой 2 400 Па (в соответствии со стандартом IEC) испытывался не только модуль, но также и системы крепежа, зажимных приспособлений и монтажных конструкций. Для проведения эксперимента вся конструкция была помещена в камеру для испытаний на нагрузку. На конструкции модуля, крепежных и зажимных приспособлениях было размещено до шести датчиков, фиксирующих отклонение по вертикали с погрешностью до 0,5 мм.



Рисунок 2.25 — Пример испытания на прочность для модулей «солнечной черепицы»

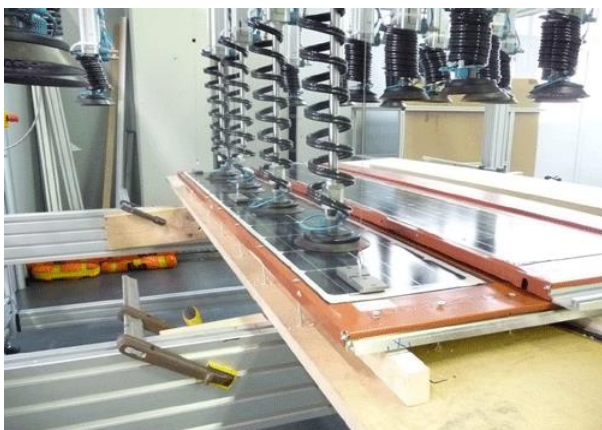


Рисунок 2.26 — Пример испытания на прочность для модулей «солнечной черепицы»

Испытания всей конструкции в реальных условиях указывают на слабые места оборудования и проблемы крепления модулей друг с другом и с ограждающей конструкцией.

Встраиваемые фотоэлектрические модули (BIPV) являются электрическими установками, поэтому они должны соответствовать стандартам по электрическим системам. Кроме этого, поскольку данные модули являются в то же время элементом ограждающей конструкции здания, они должны соответствовать требованиям строительных стандартов. Стандарт prEN 50583 призван объединить существующие требования, а также ликвидировать пробелы в нормативной документации.

Примеры применения:



Рисунок 2.27 — BIPV-фасад в Швейцарии

На южной стене Научно-исследовательского центра в Невшателе (Швейцария) появился солнечный фасад. Интегрированные в него солнечные панели сделаны по экспериментальной технологии, разработанной компанией Meyer Burger. Фасад создан с использованием технологии высокоэффективных гетеропереходов для солнечных панелей (HJT) и «умной» системы соединения панелей SmartWire (SWCT).

Фотоэлектрический фасад отличается элегантным дизайном своих модулей. Благодаря практически невидимым соединительным элементам солнечные модули фасада образуют почти однородную поверхность на протяжении 633 кв. м. Всего на реализацию этого проекта ушло 18 месяцев, а финансированием строительства занимались власти города, энергоснабжающая компания Viteos и научный центр CSEM. Инновационные технологии позволили добиться высокой энергоэффективности фасада и гарантировали максимальный выход энергии даже при очень высоких температурах.

По словам специалистов из Meyer Burger, интегрированные в здание солнечные панели (BIPV) становятся строительным материалом, который прекрасно впишется в архитектурную стилистику любого здания. А применение в них новых технологий высокоэффективных гетеропереходов и умной системы соединения панелей SmartWire (SWCT) позволит увеличить производительность солнечных панелей в различных климатических зонах.

Новейшие солнечные панели, созданные с применением этих технологий, станут доступны для массового потребителя в Швейцарии уже в середине 2016 года.

5.3 Установка тонкопленочных солнечных элементов

Конкурентоспособность солнечной энергетики определяется, главным образом, двумя наиболее значимыми факторами: во-первых – это эффективность преобразования солнечной энергии в электричество, а во-вторых, - конечно же, цена. Однако, занимающие ведущее положение на мировом рынке, панели из кристаллического кремния, несмотря на наметившуюся тенденцию к повышению эффективности, далеко не дешевы. Причем, основная часть их стоимости приходится на долю кремния. Наземные солнечные панели до некоторых пор не могли соперничать с традиционными источниками энергии, кроме, разве что, удаленных от центральных сетей мест, где реальной альтернативы солнечной энергии

просто нет. Рост цен на поликристаллический кремний, ограничения поставок, недостаточные оптические характеристики, ограниченность захвата солнечного спектра и другие менее значимые недостатки кремниевых моно- и поликристаллических элементов привели ученых к необходимости поиска более надежных и эффективных материалов для солнечных элементов, а также создания новых усовершенствованных технологий для их производства.

Тонкопленочные технологии, являющиеся на сегодняшний день наиболее перспективными в солнечной энергетике, позволили существенно снизить затраты на производство. Разработано несколько типов тонкопленочных фотоэлементов, как находящихся на стадии исследований и экспериментов, так и успешно применяемых в различных областях человеческой деятельности.

Наиболее известные из них – это:

- аморфный кремний (a-Si: H);
- теллурид/сульфид кадмия (CTS);
- медно-индиевый или медно-галлиевый диселенид (CIS or CIGS), тонкопленочный кристаллический кремний (c-Si film);
- нанокристаллические сенсibilизированные красителем электрохимические фотоэлементы (nc-dye).



Рисунок 2.29

Специалистами компании Flisom была предложен и разработан инновационный тип светочувствительной пленки для солнечных панелей, позволяющий предположительно снизить себестоимость генерируемого электрического тока до 0,5 долларов за ватт, что почти в два раза ниже себестоимости электроэнергии, производимой при сжигании углеводородного топлива. Данная разработка основана на применении в

качестве полупроводника не чистого кремния, а селенида меди-индия-галлия (copper indium gallium selenide, CIGS), нанесенного на гибкую поверхность. Тонкопленочный элемент такого состава получается при распылении меди, индия и галлия с последующей обработкой парами селена.

Гибкость и тонкослойность открыли для солнечных панелей новые сферы применения. Тонкопленочные элементы могут быть встроены в различные электронные приборы, строительные конструкции и даже ткани. По прогнозам специалистов, развитие тонкопленочных технологий в солнечной индустрии приведет всего через 10 лет к завоеванию почти 50% всего энергетического рынка.

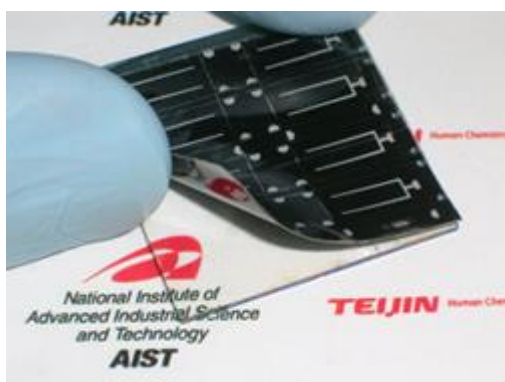


Рисунок 2.30

В сравнении с применяемыми видами солнечных панелей тонкопленочные обладают рядом преимуществ:

- нанесение таких элементов возможно на поверхности любой конфигурации -стеклянные фасады зданий, оконные стекла зданий и автомобилей, что делает их уже готовыми источниками электроэнергии;
- меньшая материалоемкость приводит к сокращению финансовых затрат;
- способность воспринимать рассеянное солнечное излучение с большей эффективностью, чем объемные кремниевые панели позволяет применять их в местах с низкой инсоляцией;
- затемнение и нагрев тонкопленочных модулей оказывают на них меньшее негативное влияние, чем на кристаллические объемные модули.

Кремниевые тонкопленочные элементы занимают сегодня около 80 % объема мирового рынка тонкопленочных солнечных ячеек, около 18 % принадлежат пленкам на основе теллурида кадмия и лишь 2 % занимают тонкопленочные элементы из селенида меди-индия-галлия.

Уже сейчас понятно, что будущее солнечной энергетики за тонкопленочными технологиями. Исследования и разработки в области тонкопленочных солнечных элементов направлены на усовершенствование существующих и создание новых технологий, упрощающих эксплуатацию, повышающих КПД и снижающих затраты на производство.

Сравнительная характеристика объемных кремниевых панелей (КПД 20-25 %) и тонкопленочных панелей из аморфного кремния (КПД 10 %), теллурида кадмия (КПД до 16 %) и селенида меди-индия-галлия (КПД до 20%) доказывает явное преимущество тонкопленочных солнечных панелей на основе селенида меди-индия-галлия, так как выработка 1000 Вт электроэнергии такой панелью достигается пленкой площадью в 9-11 кв. метров, тогда как для пленки из теллурида кадмия для генерирования такого же количества энергии требуется 12-17 кв. метров, а для кремниевой – 14-20 кв. метров.



Хорошо освоенным и практичным способом производства тонкопленочных солнечных панелей является способ, связанный с применением закаленного стекла, что обусловлено его прозрачностью для солнечного излучения и, в то же время, прочностью. В одном из вариантов фотоэмульсионная пленка размещается внутри стекла триплекса. Тонкопленочные стеклянные солнечные панели особенно популярны в архитектуре зданий, автомобилестроении и индивидуальном домостроении. Светодиодные триплексы, камеры слежения, уличные осветительные приборы, садовые фонтаны, фонари и пр. – идеальные сферы применения тонкопленочных элементов. Такие стеклянные солнечные панели в темное время суток работают от аккумуляторов, заряжающихся днем энергией солнца от солнечной панели.



Уже не менее 10 компаний в мире выпускают прозрачные солнечные панели, которые можно вставлять в окна зданий вместо обычного стекла. Конечно, электроэнергии они вырабатывают пока еще недостаточно в сравнении с обычными солнечными панелями, однако, если такими окнами-панелями оснастить высотное здание, то резервный генератор для аварийных ситуаций будет в таком случае лишним.

Так, например, самое высокое здание в США чикагский 110-этажный небоскреб Уиллис-тауэр может стать солнечной электростанцией. Предполагается остеклить фасады здания стеклянными панелями, аккумулирующими солнечную энергию. Еще в ноябре 2010 года на 56 этаже здания были установлены 2 оконные фотоэлектрические панели, разработанные израильской компанией Pythagoras Solar. Окна-панели представляют собой своеобразный сэндвич из двух слоев обычного стекла и слоя фотоэлементов между ними, чередующегося с призмами. Такие окна свободно пропускают рассеянный свет и обеспечивают видимость, а прямые солнечные лучи, попадая на призмы, отражаются на фотоэлементы. Каждое такое окно имеет мощность равную 120 Вт, сопоставимую с мощностью обычной солнечной панели, устанавливаемой на крыше. В летнее время оконные фотоэлектрические панели сокращают поступление тепла в здание, что уменьшает расходы на кондиционирование. При остеклении восточного и западного фасадов Уиллис-тауэра новыми оконными системами, суммарная вырабатываемая мощность достигнет 2 МВт, что эквивалентно мощности, генерируемой средней электростанцией.

Полупрозрачные солнечные тонкопленочные панели встраивают в автомобильные люки компании Audi и Volkswagen. Количества генерируемой ими энергии достаточно пока лишь для работы вентилятора в салоне автомобиля, стоящего, к примеру, на заливаемой солнцем автопарковке, или GPS-навигатора.

Основными производителями тонкопленочных солнечных панелей являются Германия, Япония, США и Китай.

Как уже отмечалось, наиболее перспективным видом тонкопленочных фотоэлементов являются пленки на основе диселенида меди-индия-галлия (CIGS). Самыми распространенными методами получения такой пленки является напыление или распыление меди, индия и галлия одновременно либо поочередно и последующая обработка полученной пленки парами селена. Основной проблемой при массовом производстве является получение однородного состава на больших площадях элемента. Методы осаждения пленок CIGS из паровой фазы основан на использовании дорогостоящих вакуумных камер и электронных пушек. Наиболее дешевы методы ионного распыления и высоковакуумного напыления, однако при использовании этих методов возникают другие проблемы, например, пленкой покрывается не только подложка, но и вся камера.

Недостаток поставок индия также может затормозить производство CIGS, так как основной областью применения индия являются в настоящее время плоскопанельные дисплеи.

Таким образом, приоритетными направлениями исследований на пути создания оптимального метода нанесения CIGS должны стать получение однородности и снижение себестоимости за счет усовершенствования материалов и технологий.

Прогрессивным методом нанесения CIGS является метод печати, используемый такими ведущими производителями в этой отрасли как International Solar Electric Technology, Nanosolar и другие. Метод печати основан на использовании суспензии частиц оксидов металлов. Варьируя такими характеристиками суспензии, как, например, вязкость, зависящими от размера самих частиц, их концентрации и др., возможно получать, так называемые, «чернила» для печати, наиболее подходящие к конкретному методу печати – от трафаретной печати до струйного осаждения. Подложки при использовании методов печати могут быть из самых разнообразных материалов: металлической фольги, стекла и пластика. Коэффициент

использования материалов в этих методах достигает 90 % и выше, причем используемое оборудование является более дешевым, чем при вакуумных процессах. Однородность при использовании этого метода также существенно повышается. Все это говорит о перспективности невакуумных методов получения CIGS. КПД недавно созданной фирмой Nanosolar солнечной панели CIGS, полученной методом печати равнялся 14%. панели же, полученные методом осаждения из паровой фазы, обладали эффективностью 18,8 %, однако, не надо забывать, что процесс осаждения протекал на очень дорогостоящем оборудовании. Серийно выпускаемые в настоящее время аморфные кремниевые панели имеют КПД 9,8 %.



Рисунок 2.40

Новая разработка стэнфордских ученых позволит повысить эффективность солнечных тонкопленочных элементов. Это тонкопленочные солнечные элементы, сенсibilизированные красителем. Панель фотоэлемента, сенсibilизированного красителем, представляет собой пластину из стекла или металла, покрытую фоточувствительной краской. КПД этих недавно появившихся на рынке тонкопленочных панелей составляет приблизительно 11 %. Ученые из Стэнфорда использовали специальный металлический отражатель, позволивший повысить эффективность такой панели до 20%. Отражатель представляет собой покрытие из тонкой серебряной пленки с наноразмерными выемками: выемки способствуют улавливанию большего количества света внутри солнечной ячейки, повышая тем самым КПД на 5-20%.

Национальным институтом промышленных исследований и технологий Японии, корпорацией Mitsubishi и компанией Tokki был создан новый тип тонкопленочных солнечных панелей. Рабочий слой такой панели не превышает 1 мм, основную же часть панели составляет пластиковая подложка, выполняющая защитные функции. Эти, так называемые,

органические тонкопленочные солнечные панели, включают в себя: пластиковую подложку, фталоцианиновый (пигментный) слой и слой фуллеренов. Объединив 8 таких солнечных элементов в модуль, имеющий форму листа растения площадью 60 см², ученые продемонстрировали возможности новой технологии.

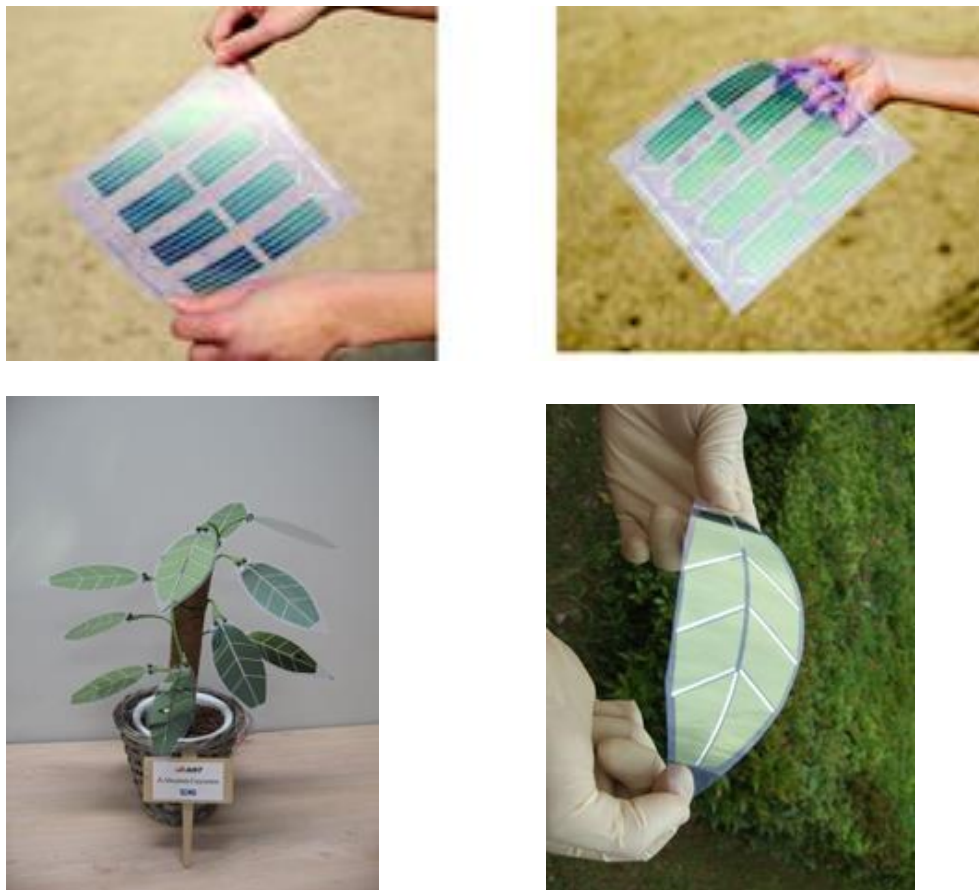


Рисунок 2.41

Деревья-электростанции в скором будущем

Новым этапом, открывающим совершенно новые сферы применения, стала разработка технологического концерна 3M, создавшего надежное, не пропускающее воду полимерное покрытие для ультратонких солнечных элементов и обладающее значительным ресурсом (до 20 лет). Фторполимерная пленка толщиной всего в 23 микронметра, что составляет одну сотую часть толщины стеклянного покрытия, в перспективе заменит стеклянные покрытия, применяемые в традиционных солнечных элементах. Несмотря на низкую себестоимость, водонепроницаемость и долговечность, стекло – это тяжелый, твердый и хрупкий материал. Поэтому транспортировка солнечных элементов с защитным стеклянным покрытием сопряжена с определенными проблемами и требует соответствующих затрат.

При использовании новой фторполимерной пленки эти проблемы отпадают сами собой. Каркас, в который вставляются солнечные элементы, также становится не нужен, что сильно облегчает общий вес солнечных модулей. Солнечные элементы с ультратонким покрытием можно монтировать прямо в крышу здания, не боясь перегрузок.

Обтянутые пластиковой пленкой солнечные элементы уже производятся. Примером могут служить солнечные панели, встроенные в палатки или рюкзаки. Однако покрытие для этих элементов оставляет желать лучшего: такие панели недостаточно изолированы от влаги, что сравнительно быстро выводит из строя тонкослойные элементы, да и ресурс их невелик.



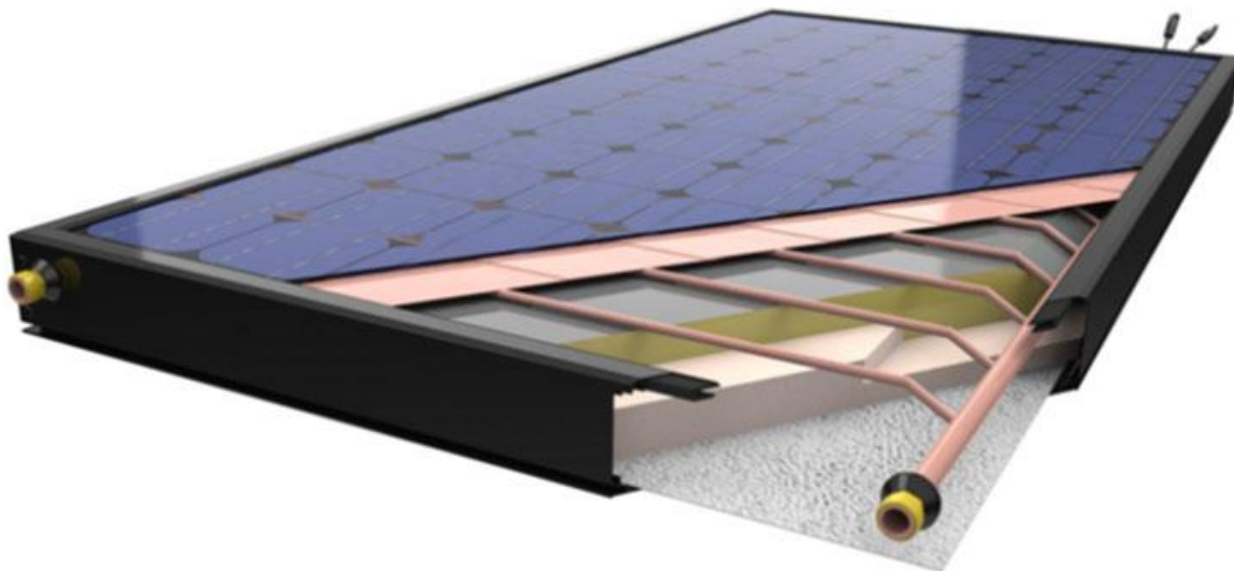
Рисунок 2.42

Квадратный метр нового фторполимерного покрытия пропускает всего 0,5 миллиграмма влаги, устойчив к высоким температурам и разрушающему действию ультрафиолета, что и является причиной столь долгого срока службы.

Особенно важно это открытие для ультратонких элементов CIGS – смеси меди, индия, галлия и селена с более высоким КПД (на 50 %), чем элементов из аморфного кремния. Материал CIGS-полупроводников гораздо чувствительнее к избытку влаги, чем аморфный кремний. Фотоэлементы CIGS вполне возможно выпускать на металлических или пластиковых лентах, однако при отсутствии более подходящего материала для покрытия, использовали стекло. Новое полимерное покрытие можно будет использовать при производстве не только фотоэлементов CIGS, но и кадмиево-теллуридовых и органических солнечных элементов.

5.4 Гибридные солнечные коллекторы

Гибридные солнечные коллекторы способны вырабатывать электроэнергию и тепловую энергию одновременно. Данный солнечный коллектор представляет собой объединение фотоэлектрической панели и теплового солнечного коллектора и сокращенно называется PVT панель.

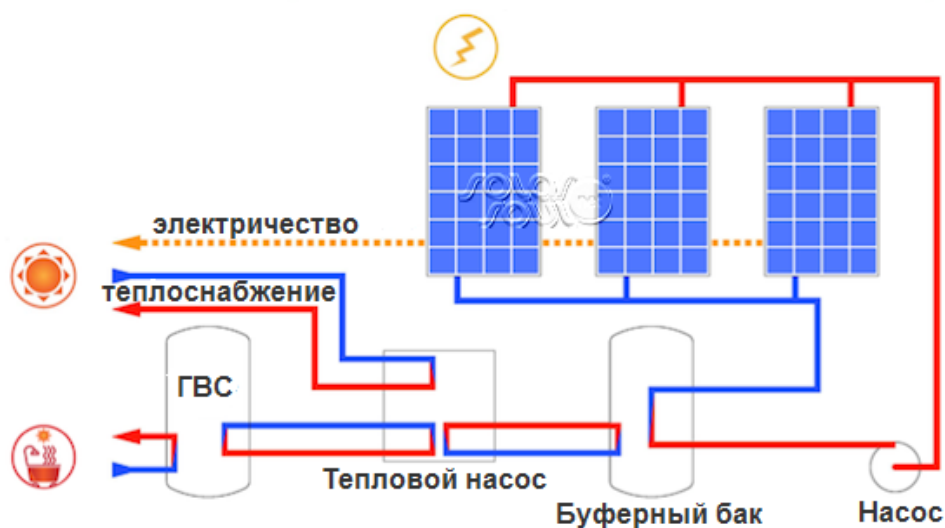


Такой симбиоз позволяет **в два раза сократить площадь установки** при необходимости использования одновременно солнечных коллекторов и фотоэлектрических модулей на одном здании.

Гибридные солнечные коллекторы PVT на практике

В теории такое решение кажется очень эффективным и позволяющим решить ряд проблем. Однако на практике не всегда удается добиться максимальной эффективности гибридного солнечного коллектора PVT.

В основном это связано с тем что в летний период температура теплоносителя не должна превышать 50 °С, поэтому работа таких систем для горячего водоснабжения весьма ограничена. А при отсутствии циркуляции теплоносителя температура на поверхности фотоэлементов повышается значительно больше, чем у обычных солнечных панелей из-за использования дополнительной теплоизоляции. Так же в гибридных PVT модулях не используется высокоселективное покрытие и поэтому тепловая производительность будет значительно меньше относительно классических солнечных коллекторов.



Вариант применения гибридных модулей PVT

6. Проектирование солнечной электростанции как элемента энергообеспечения многоквартирного энергоэффективного жилого дома в г.Гродно

6.1 Общие положения

Система солнечной электростанции предназначена для установки на кровле и фасаде 10-ти этажного 120-и квартирном энергоэффективного жилого дома в г.Гродно в рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь», №00077154.



Внешний вид многоквартирного жилого дома в г.Гродно

6.2 Описание системы

6.2.1. Здание имеет юго-западную ориентацию, при которой оптимальный угол наклона солнечных модулей на кровле, при котором снижение выработки электрической энергии относительно южной ориентации не превышает 5%, составляет 30 град. Выбором указанного угла определяется сезон максимальной выработки солнечной станции в период от весеннего до осеннего равноденствия, а именно: с 22 марта по 23 сентября календарного года. Выработка в зимний период (декабрь-январь) незначительна.

На кровле здания представлено расположение 100 солнечных модулей.

На фасаде здания 196 солнечных модулей расположены вертикально. Установленная электрическая мощность солнечной станции - 75 кВт (из них 25 кВт на кровле, 50 кВт на фасаде).

6.2.2. Система солнечной станции состоит из следующих основных элементов:

- 1) солнечные модули;
- 2) инверторы.

Солнечные модули на кровле последовательно соединены солнечным кабелем PV-1F в 5 блоков по 20 штук. Солнечные модули на фасаде здания последовательно соединены в 8 блоков по 20 штук и 2 блока по 18 штук. Каждый блок подключен к отдельному входу MPPT контроллера инвертора.

Выходы инверторов подключены к щиту силовому, который соединен с вводным распределительным устройством (ВРУ2), питающим инженерное оборудование здания. Во ВРУ2 установлен двунаправленный счетчик электрической энергии для коммерческого учета выработанной электроэнергии и учета затраченной на питание инверторов.

Применяемые инверторы оснащены встроенной (или блоком внешней) комплексной защиты от воздействия атмосферных грозовых разрядов и индуцированных импульсных скачков перенапряжения.

6.2.3. Металлические конструкции каркасов солнечных модулей соединяются с молниезащитной сеткой системы молниезащиты.

6.2.4. Для понимания принципа работы солнечной станции прилагается следующая документация (Приложение 1-4):

- Однолинейная схема присоединения к сети;
- Схема прокладки кабельных трасс на фасаде здания;
- Расположение и крепление оборудования на кровле;
- Схема с границами поставки.

6.3 Основные элементы системы

6.3.1. Солнечные модули - 296 шт, тип модулей – поликристаллические

6.3.2. Инверторная группа. Суммарная мощность инверторов для фасада - не менее 50кВт, для кровли - не менее 25кВт.

6.3.3. Солнечный кабель PV-1F, включая коннекторы MC-4.

Метраж кабеля и количество коннекторов определяется исходя из электрической схемы, определяемой конфигурацией применяемого оборудования.

6.3.4. Система учета.

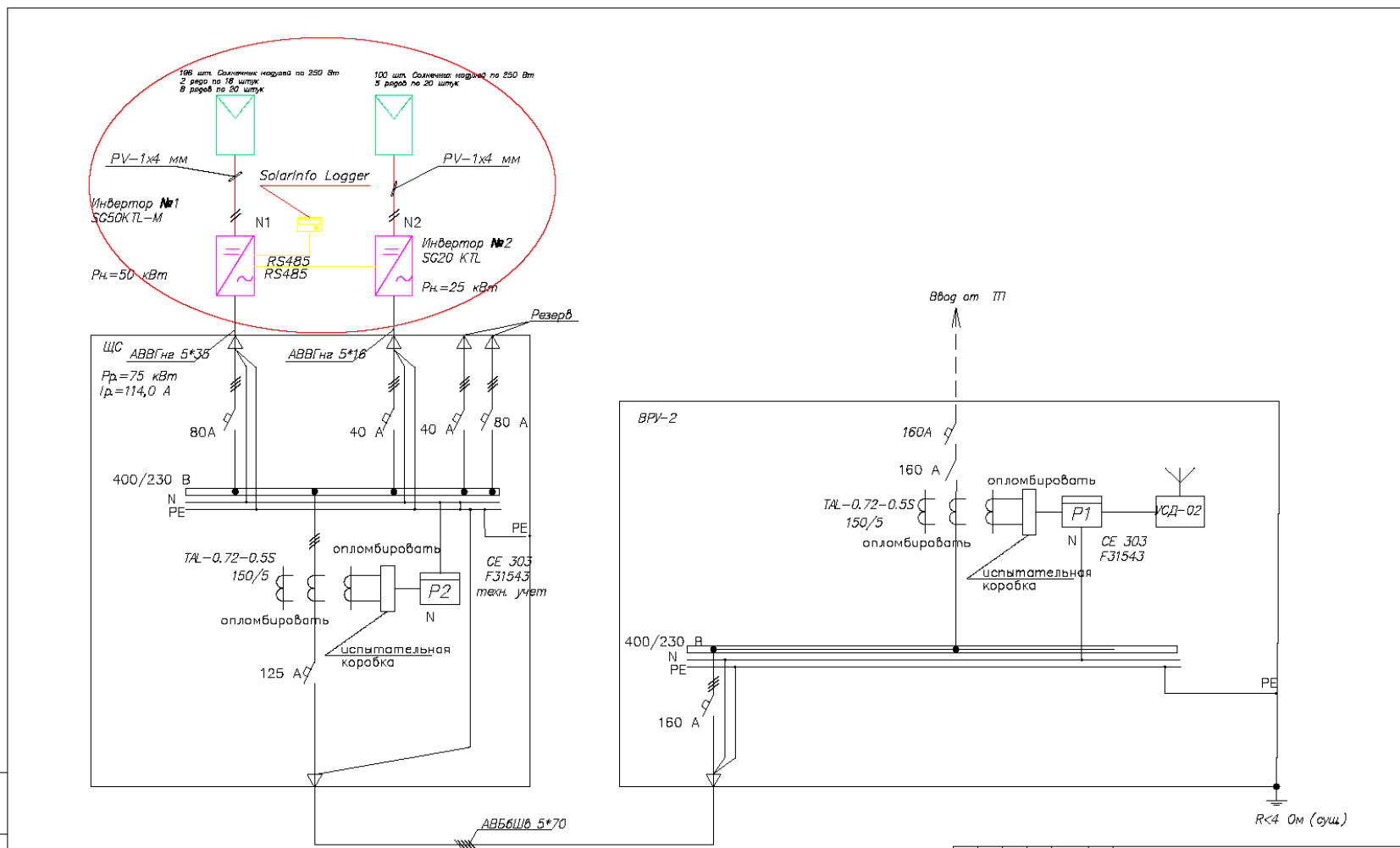
Счетчик активной и реактивной электрической энергии. Технические требования:

- возможность учета в двух направлениях;
- возможность учета активной и полной мощности;
- многотарифность;
- интерфейс RS-485.

6.3.5. Система дистанционного мониторинга:

- совместимость с системой инверторов
- возможность подключения к сети Интернет (GSM, wi-fi, LAN)
- организация Web-мониторинга

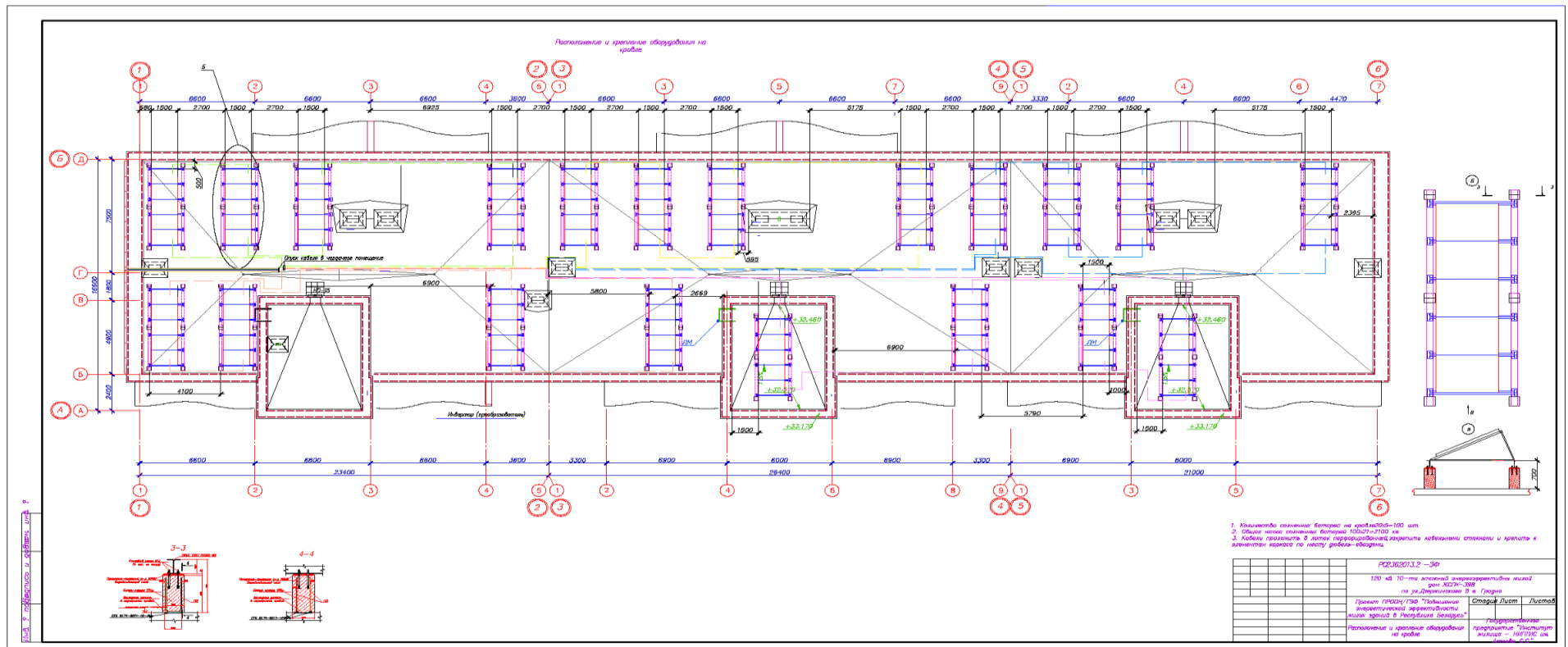
Приложение 1. Схема с границами поставки



1. Преобразователь электрической энергии работает параллельно с электрической сетью энергосистема на напряжение 0,4 кВ в синхронном режиме, обеспечивая качество выводимой электрической энергии согласно ГОСТ 13109-97.
2. При отключении линии 0,4 кВ подача напряжения от генерирующей установки в сеть энергосистемы исключается релейной защитой и противоаварийной автоматикой инвертора.
3. Предусмотреть в ВРУ2 установку двунаправленного многотарифного счетчика для коммерческого учета электроэнергии.

РДЗ3620(3,2 - 3Ф			
Проект ПРООН/ЭФ "Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь"			
Схема с границами поставки		Государственное предприятие "Институт жилища - НИИПЭС им. А.Лукашевича"	
Формат А2			

Приложение 3. Расположение и крепление оборудования на кровле



Приложение 4. Однолинейная схема присоединения к сети

