

Солнечные системы

Солнечный свет и фотоэлектрический эффект

Фотоэлектрический эффект — это процесс использования солнечного света для производства электроэнергии постоянного тока бесшумным, чистым и автономным способом. Оборудование, необходимое для производства этой электроэнергии, обычно называется «солнечной панелью», является модульным и требует минимального технического обслуживания. Благодаря своему длительному сроку службы, солнечные системы становятся все более популярными в отдаленных районах или в тех случаях, когда установка должна служить долго.

Солнечные панели — это устройства, способные преобразовывать световое излучение в электричество посредством процесса захвата фотонов и их использования для возбуждения полупроводников P-типа и N-типа для перемещения свободных электронов. Современные фотоэлектрические панели, как правило, могут преобразовывать около 15–20% энергии непосредственно в электричество. Существуют группы, которые являются более эффективными, но они очень дорогостоящие, их легко повредить и, как правило, они недоступны в тех местах, где могут работать гуманитарные организации.

Свет попадает в устройство через антибликовое покрытие, которое сводит к минимуму потерю света при отражении. Затем устройство эффективно улавливает свет, попадающий на солнечный элемент, способствуя его передаче в три слоя преобразования энергии ниже.

- Кремниевый слой N-типа; обеспечивает дополнительные электроны (отрицательные).
- Соединительный слой P-N. Поглощающий слой, составляющий ядро устройства, ориентирующего электроны в одном направлении.
- Кремниевый слой P-типа; создает вакансию электронов (положительную).

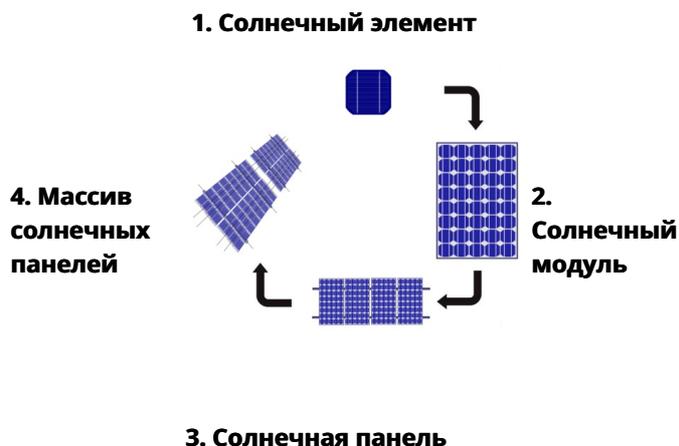
Два дополнительных слоя электрического контакта необходимы для вывода электрического тока на внешнюю нагрузку и обратно в ячейку, таким образом, завершая электрическую цепь.

Большинство солнечных элементов имеют площадь несколько квадратных сантиметров и защищены от окружающей среды тонким покрытием из стекла или прозрачного пластика. Поскольку типичный солнечный элемент размером 10 × 10 см (4 × 4 дюйма) генерирует только около двух Вт электрической мощности, элементы, как правило, объединяются последовательно для повышения напряжения или параллельно для увеличения тока. Солнечный или фотоэлектрический (ФЭ) модуль обычно состоит из 36 или более взаимосвязанных элементов, ламинированных со стеклом в алюминиевой рамке.

Один или более из этих фотоэлектрических модулей могут быть соединены проводами и объединены в раму для формирования солнечной панели, при этом несколько панелей могут быть объединены, образуя массив солнечных панелей, вместе подающих энергию как единый блок.

Полноценная фотоэлектрическая система, как правило, включает следующие компоненты:

- Счетчик электроэнергии
- Изолятор переменного тока
- Блок предохранителей
- Инвертор
- Аккумулятор
- Контроллер заряда
- Кабельная проводка
- Монтаж
- Система отслеживания



Ухудшение состояния солнечных элементов

Состояние всех солнечных элементов (и, соответственно, солнечных панелей) со временем ухудшается. В то время как солнечные системы получают энергию от солнца, солнце также медленно разрушает компоненты солнечных элементов. Характеристики большинства доступных в продаже солнечных панелей ухудшаются в среднем на 2% за год использования. Продолжительность использования установки должна учитываться для целей планирования и составления бюджета. Например, состояние массива солнечных панелей, установленного под прямыми солнечными лучами, ухудшается на 2% в год, а это означает, что через 10 лет эффективность панелей будет примерно на 80% меньше, чем на момент установки. Сниженный КПД означает меньшую выходную мощность массива, что означает более длительные периоды времени для зарядки батарей и меньшее оптимальное время зарядки в течение дня. Гуманитарные организации, планирующие использовать массивы солнечных панелей в течение более 10 лет в одном месте, могут рассмотреть вопрос о выделении средств на замену панелей через 12–15 лет, если общая производительность перестанет удовлетворять потребностям места.

Архитектура системы

Полная фотоэлектрическая система может состоять из одного или нескольких солнечных модулей в зависимости от требуемой мощности. В то время как батареи могут использоваться в качестве резервного источника любого основного источника питания, солнечные системы нуждаются в аккумуляторной системе для хранения вырабатываемой энергии. Соответственно, солнечная система всегда включает в себя аккумуляторную систему в той или иной форме, как небольшого, так и крупного размера. Эти батареи специально разработаны для подачи ограниченного тока в течение длительного периода времени.

Энергосистема может адаптироваться к различным электрическим нагрузкам путем регулирования напряжения и/или тока, поступающего от солнечных панелей к аккумулятору, для предотвращения чрезмерной зарядки. Большинство «12-вольтных» панелей могут выдавать от 16 до 20 вольт в оптимальных условиях, поэтому отсутствие

регулирования батареи приведет к повреждению вследствие перезаряда. Большинству батарей для полной зарядки требуется от 14 до 14,5 вольт. Как и для любой другой электрической системы, здесь требуется надлежащая оценка и прокладка кабелей.

Солнечная система обычно состоит из следующих компонентов:

- Фотоэлектрический модуль, солнечная панель или массив солнечных панелей, включая несколько типов их креплений.
- Аккумуляторная система.
- Солнечный регулятор.
- Кабельная проводка и средства защиты.

Солнечные системы могут удовлетворить практически любые конкретные потребности, поскольку они являются модульными по своей природе. Это позволяет подключать фотоэлектрические модули непосредственно ко многим устройствам, таким как погружные насосы или автономные морозильные камеры, или в виде целых солнечных энергетических массивов, способных производить энергию для целых офисов или жилых комплексов.

Солнечные модули

Мощность солнечных модулей рассчитывается в ватт-пиках, представленная как номинальная пиковая мощность (P_{max}), полученная путем умножения напряжения пиковой мощности (V_{mp}) на ток пиковой мощности (I_{mp}):

$$P_{max} = V_{mp} \times I_{mp}$$

Панель солнечных батарей 100 Вт пиковой мощности производит 100 Вт в стандартных тестовых условиях (STC — от англ. Standard test conditions). STC существует только в лабораториях, с применением солнечного излучения к панелям 1000 Вт/м² с температурой элемента 25 °C. В реальной установке фактическая выработка электроэнергии обычно намного ниже пиковой мощности, однако эти показатели остаются полезными в качестве качественного ориентира для сравнения размеров и мощностей, поскольку каждая панель рассчитывается при одинаковых условиях.

Пример этикетки, поставляемой с солнечной панелью



Module Type: RNG-100MB

Max Power at STC (P_{max})	100 W
Open-Circuit Voltage (V_{oc})	21.2 V
Short-Circuit Current (I_{sc})	6.10 A
Optimum Operating Voltage (V_{mp})	17.7 V
Optimum Operating Current (I_{mp})	5.70 A
Temp Coefficient of P_{max}	-0.38%/°C
Temp Coefficient of V_{oc}	-0.28%/°C
Temp Coefficient of I_{sc}	0.06%/°C
Max System Voltage	600VDC (UL)
Max Series Fuse Rating	10 A
Fire Rating	Class C
Weight	6.8kg / 15lbs
Dimensions	1038x533x35mm / 40.9x21.0x1.37in
STC	Irradiance 1000 W/m ² , T = 25°C, AM=1.5

WARNING-ELECTRICAL HAZARD
This module produces electricity when exposed to light.
Follow all applicable electrical safety precautions.

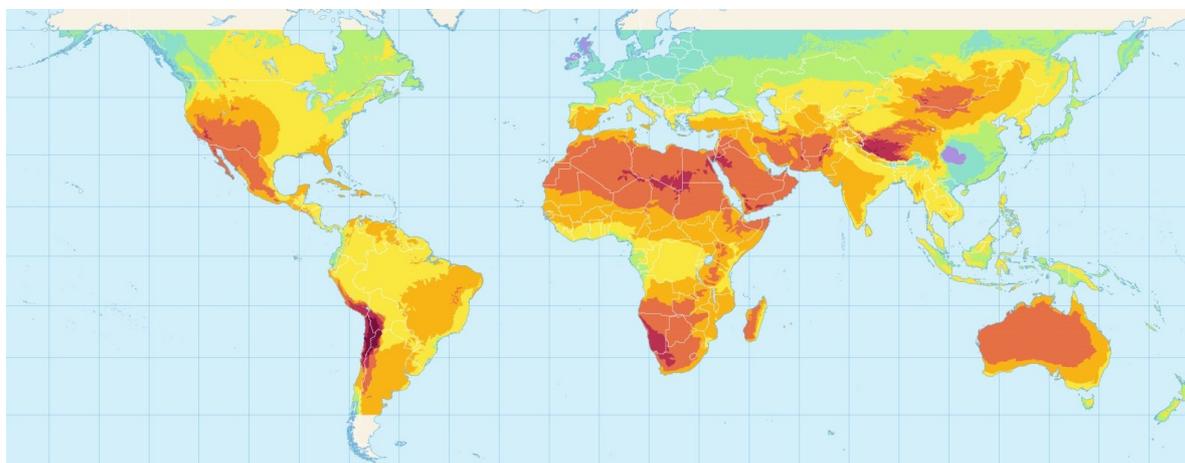
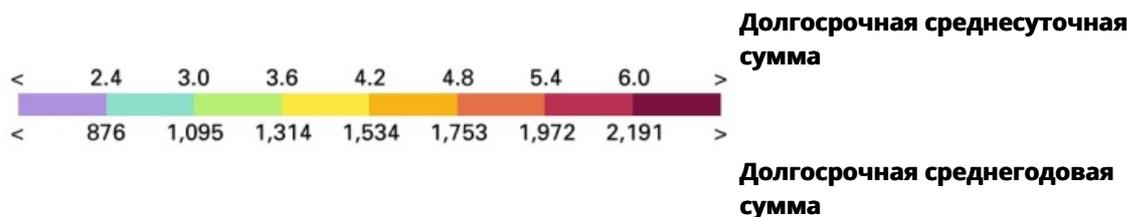
ATTENTION-RISQUE ELECTRIQUE
Ce module produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière.
Suivre toutes les précautions électriques de sécurité applicables.

CE    

Количество электрической энергии, вырабатываемой в течение одного цикла

солнечным модулем, в основном зависит от следующих факторов:

Суточная освещенность: количество энергии, обеспечиваемое солнцем за один день, является наиболее важным параметром. Районы, расположенные вблизи экватора, имеют наилучшую среднюю освещенность, однако это общее правило может значительно различаться в зависимости от места и сезона. Средняя производительность фотоэлектрической системы, выраженная в кВт·ч/м²/день, может быть указана на графике ниже.



Тень, туман и облачная погода: любое препятствие, блокирующее солнечный свет, приводит к уменьшению выработки энергии модулем. Кроме того, если солнечная панель частично затенена, производство электроэнергии может прекратиться, поскольку затененные элементы будут потреблять энергию, производимую остальной частью панели. В некоторых случаях возникает явление, называемое «нагревом горячей точки», когда затененные части одной панели быстро нагреваются, поскольку они потребляют электроэнергию от незатененной части, и это может быстро разрушить панель. Данное явление можно предотвратить, используя шунтирующие диоды, которые обычно входят в состав фотоэлектрических модулей, но настоятельно рекомендуется проверить эту функцию.

Ориентация панели: ненадлежащим образом ориентированная панель — например, обращенная к северу в северном полушарии — будет производить гораздо меньше энергии, чем это рассчитано для панели, или даже вообще не будет производить энергии.

Температура: Температура выше 25 °C также может уменьшить количество энергии, вырабатываемой солнечной панелью.

Часы работы в дневное время: Солнечные панели производят больше электроэнергии, когда вертикальные лучи солнечного света расположены ближе друг к другу,

обеспечивая больше энергии на квадратный сантиметр. В результате солнечные панели будут производить меньше электроэнергии, когда солнце находится у горизонта, чем когда солнце находится прямо над горизонтом. С практической точки зрения, солнечная панель, расположенная вблизи экватора, находящаяся снаружи в течение 12-часового рабочего дня, будет вырабатывать пиковую электроэнергию, эквивалентную 6 часам, и это только при оптимальных условиях. Смена времен года или плохая погода еще больше снижают этот показатель.

В результате вышеупомянутых факторов фактическое производство электроэнергии солнечной системой может быть трудно оценить. Простой метод заключается в выборе размера установки таким образом, чтобы она производила 30% ежедневной потребности в энергии в течение самого неблагоприятного месяца.

Монтаж панелей и массивов

Использование модулей WPV, объединенных для создания солнечных панелей, и комбинированных солнечных панелей, смонтированных вместе для создания массивов солнечных панелей, возможно с использованием стандартных распределительных коробок типа MC3 / MC4, которые являются водонепроницаемыми и простыми в подключении. Как и в батареях, в массивах панелей должны использоваться только солнечные модули с одинаковыми характеристиками, одной и той же модели и, насколько это возможно, с одинаковой историей.

Крепления

Солнечные трекеры — устройства, которые ориентируют панели по направлению к солнцу — являются сложными, дорогими, и не рекомендуются за пределами промышленного использования и/или высоких широт, где солнце значительно перемещается. Некоторые крепления предназначены для сезонной регулировки, что дает возможность вручную переключаться между двумя положениями в течение года, чего должно быть более чем достаточно для большинства установок.

Существует два основных типа креплений солнечных батарей: Наземные и крышные крепления. Солнечные панели наземного крепления легче устанавливать и обслуживать, чем системы крышного крепления. Монтируемые на крыше системы трудно или невозможно отрегулировать, и монтаж на крыше может привести к повреждению конструкции из-за веса и давления ветра. Однако наземные крепления имеют свои проблемы; они занимают полезное пространство, более склонны к затенению и сопряжены с риском случайного повреждения автомобилями и людьми. Решения относительно монтажа должны приниматься в зависимости от местоположения и имеющейся инфраструктуры.

Аккумуляторные системы

Солнечные аккумуляторные батареи имеют решающее значение для поддержания работы солнечных систем. Без аккумуляторных батарей электроэнергия будет доступна только в то время, когда солнечные панели производят ее. Поскольку панели производят энергию только в течение дня, в то время как потребление может иметь место в любое время, для хранения этой энергии необходим стабильный блок питания. Обратитесь к [разделу по аккумуляторным батареям](#) для получения дополнительной информации.

Солнечный регулятор

Контроллеры зарядного устройства, широко известные как солнечные регуляторы, представляют собой электронные блоки, предназначенные для управления потоком тока — как тока, заряжающего аккумуляторы от панелей, так и тока, поступающим от аккумуляторов в офисы/жилые комплексы.

Солнечные регуляторы контролируют заряд и разряд аккумуляторных батарей, отключая панели, когда батареи полностью заряжены, и отключая питание нагрузки, когда батарея слишком разряжена. Другой важной функцией солнечных регуляторов является оптимизация производства энергии из панелей путем преобразования более высокого выходного напряжения, поступающего от панелей, в более низкое входное напряжение, необходимое для аккумуляторных батарей. Регулятор действует как центральный элемент установки, и получение максимальной выходной мощности зависит от его правильного функционирования.

Существует два типа солнечных регуляторов:

Отслеживание точки максимальной мощности (MPPT):



MPPT (от англ. Maximum Power Point Tracking) определяет выходное напряжение и ток солнечной панели в режиме реального времени и непрерывно отслеживает максимальную мощность ($P=U \cdot I$), регулируя выходное напряжение соответствующим образом, чтобы система всегда могла заряжать аккумуляторную батарею с максимальной мощностью. Данный тип отслеживания мощности позволяет лучше вырабатывать электроэнергию при облачности и непостоянных температурах. Хотя контроллер заряда MPPT будет дороже, он обеспечит больше энергии (и потенциально уменьшит размер фотоэлектрического модуля), а также продлит срок службы подключенных к нему аккумуляторных батарей. Некоторые контроллеры даже позволяют подключаться к интеллектуальным устройствам для удаленного управления и мониторинга.

Метод зарядки аккумуляторной батареи

Многоступенчатое MPPT

Коэффициент преобразования солнечной энергии в электрическую

99%

Сила тока в амперах

30–100 А

Масштабируемость/диапазон >2 кВт Крупная энергосистема

Средняя цена

120 \$

Отслеживание точки максимальной мощности (MPPT):

Преимущества

- Алгоритм отслеживания максимальной мощности увеличивает скорость преобразования мощности до 99%.
- 4-ступенчатая зарядка лучше для аккумуляторных батарей.
- Масштабируемость для крупных автономных энергосистем.
- Доступно для солнечных систем до 100 ампер.
- Доступно для солнечных панелей с напряжением до 200 В.
- Обеспечивают гибкость, когда требуется рост системы.
- Оснащены несколькими защитными устройствами.

Недостатки

- Высокая стоимость, как правило, в два раза превышающая ШИМ.
- Более крупный размер, чем у регулятора ШИМ.

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ):



Контроллеры заряда ШИМ можно рассматривать в качестве электрического переключателя между солнечной панелью и аккумуляторными блоками, запрограммированного на пропускание в аккумуляторную батарею только заранее определенного тока. Контроллер медленно уменьшает количество энергии, поступающей в аккумулятор, по мере приближения аккумуляторов к максимальной емкости. Контроллеры заряда ШИМ не регулируют напряжение, то есть для правильной работы аккумуляторные батареи и панели должны иметь совместимое напряжение. Это делает этот тип регулятора заряда подходящим для небольших солнечных батарей, или для установок, которые оснащены панелями более низкого напряжения и аккумуляторными блоками ограниченного размера. ШИМ являются более доступным вариантом, но приведут к более низкой выработке энергии от фотоэлектрических элементов.

Метод зарядки аккумуляторной батареи

3-х ступенчатая ШИМ

Коэффициент преобразования солнечной энергии в электрическую

75–80%

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ):

Сила тока в амперах 20–60 А

Масштабируемость/диапазон <2 кВт Малая солнечная система

Средняя цена 65 \$

Преимущества

- Регуляторы ШИМ имеют более длительную и проверенную историю.
- Регуляторы ШИМ имеют более простую структуру и являются более экономичными.
- Легко разворачиваются.

Недостатки

- Низкий коэффициент конверсии.
- Входное напряжение должно соответствовать напряжению аккумуляторного блока.
- Меньшая масштабируемость для роста системы.
- Более низкая выходная мощность.
- Меньший объем защиты.

Монтаж панели

Место хранения аккумуляторных батарей, подключенных к массиву солнечных панелей, необходимо зафиксировать перед определением размера и приобретением любого оборудования. Для установки требуемых панелей следует обеспечить большое пространство, поскольку расстояние и длина кабеля от места хранения аккумуляторной батареи повлияют на расчетные требования к мощности. Обратитесь к [разделу по установке аккумуляторной батареи](#).

Соответствующее место для установки массива солнечных панелей должно иметь следующие характеристики:

- Находиться внутри жилого комплекса и не быть заметным снаружи. Солнечные панели, устанавливаемые на земле, в идеале должны быть защищены стеной или ограждением, поэтому важно обеспечить достаточное пространство на земле.
- Располагаться как можно ближе к аккумуляторной системе.
- Находиться вдали тени, например, отбрасываемой деревьями или зданиями.

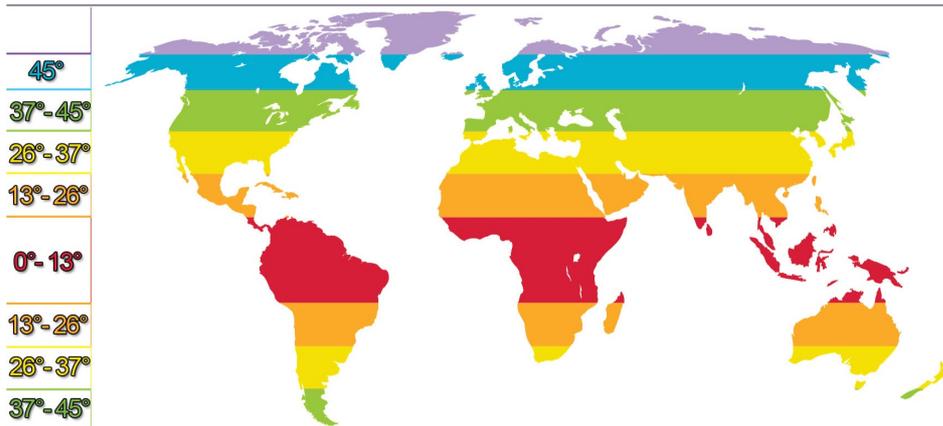
Иногда трудно полностью избежать затененных участков. В приоритетном порядке следует избегать затенения в самые солнечные часы дня (как правило, с 10:00 до 16:00). Помните, что положение и размеры тени меняются в зависимости от времени года.

Положение солнечной панели

Чтобы оптимизировать производство энергии, солнечные панели следует тщательно ориентировать, чтобы в полной мере использовать преимущества воздействия

солнечного света. Наведение солнечной панели включает в себя следующие аспекты.

- **Ориентация** – Ориентация — это угол солнечной панели относительно оси север-юг. Солнечные панели должны быть обращены к югу в северном полушарии и к северу в южном полушарии.
- **Наклон** - Угол наклона солнечной панели относительно горизонтального плана. Наклон сложнее оптимизировать. Широта может использоваться в качестве приближения оптимального угла наклона, как указано в руководстве ниже для панелей с фиксированными углами. Однако даже на экваторе панели должны иметь минимальный угол наклона от 5 до 10°, чтобы избежать скопления воды и пыли на панели.



Подключение

Выход солнечных панелей соединен с солнечным регулятором, а выход солнечного регулятора соединен с аккумуляторными батареями. Монтажная рама солнечной панели соединена с землей, и для регулятора и устройства защиты от перенапряжений настоятельно рекомендуется подключение заземления.

В зависимости от требуемой мощности или энергии панели могут следовать трем различным схемам, которые будут обеспечивать различные результаты по мощности и току. Модули, соединенные последовательно, параллельно или в комбинации друг с другом, обеспечат различные выходные мощности и энергии.

Монтажные размеры

Фотоэлектрические модули

Ниже приведен простой метод определения размеров установок, чтобы они производили 30% суточной потребности в энергии в наиболее неблагоприятные месяцы года:

Чтобы покрыть 30% энергетических потребностей установки, сколько солнечных панелей потребуется для следующего:

- Планируемая потребность в электроэнергии — 12 880 Вт·ч
- Среднегодовая суточная выработка составляет 4,32 кВт·ч на 1 кВт/пик
- В течение наиболее неблагоприятного месяца среднесуточная выработка составляет 2,62 кВт·ч на 1 кВт/пик.

Общая фактическая выработка электроэнергии, необходимая в день, составляет:

$$12.88 \times 0.3 = 3.87 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

При среднесуточной выработке 2,62 кВт·ч на 1 кВт/пик модуля суммарная суточная потребность составляет:

Пример:

$$3.87 / 2.62 = 1.48 \text{ кВт/пик}$$

Фактическое количество необходимых солнечных панелей будет зависеть от пиковой мощности каждой отдельной панели. Возможные конфигурации:

12 панелей 130 Вт/пик (1,56 кВт/пик)	или	9 панелей 180 Вт/пик (1,62 кВт/пик)	или	6 панелей 260 Вт/пик (1,56 кВт/пик)
--	-----	---	-----	---

Поскольку среднегодовая суточная выработка составляет 4,32 кВт·ч на 1 кВт/пик, установка мощностью 1,48 кВт/пик будет производить $4,32 \times 1,48 = 6,39$ кВт·ч в день в среднем за год, что будет способствовать общему увеличению экономии затрат на электроэнергию.

Регулятор

Размер солнечного регулятора должен соответствовать количеству и типу используемых солнечных модулей. При выборе размера регулятора следует учитывать следующие аспекты:

- Напряжение должно быть максимально возможным в зависимости от количества солнечных модулей в системах.
- Максимальный ток должен быть равен току короткого замыкания (ISC) вашего массива солнечных панелей. Ток короткого замыкания для одной отдельной панели можно найти на идентификационной бирке панели или в руководстве производителя. Для расчета тока короткого замыкания всего массива объедините значения тока короткого замыкания всех параллельно подключенных панелей.

Аккумуляторные батареи

Информация о размерах аккумуляторных батарей приведена в разделе [i](#), посвященном [установке аккумуляторной системы](#).

Кабели и защита

Информация о длине кабелей и датчиках проводов приведена в главе [Электроустановки](#).

Безопасность

Фотоэлектрические панели производят электричество так же, как обычный генератор. Хотя способ производства может отличаться, и в зависимости от размера массива общая мощность в ваттах меньше, чем у генератора, массивы солнечных панелей при этом могут производить вредное количество электроэнергии.

Манипуляции

Всякий раз при необходимости выполнения лицами манипуляций с фотоэлектрическими солнечными панелями, они должны постоянно носить соответствующую [защитную одежду](#) и оборудование.

Не менее важный аспект: фотоэлектрические солнечные панели вырабатывают электрический ток, даже если они не подключены к какому-либо другому устройству! Пока панель частично подвергается воздействию света, она будет вырабатывать ток в той или иной форме и по-прежнему может представлять риск. Панель, вырабатывающая электричество, не будет издавать шум или вибрировать и может даже не быть теплой на ощупь. Как правило, фотоэлектрические солнечные панели не имеют никаких индикаторов того, что они вообще производят электроэнергию. По этой причине фотоэлектрические солнечные панели обычно выглядят безопасными на ощупь, даже когда они таковыми и не являются.

При установке, снятии или обычной регулировке солнечных панелей они должны быть полностью закрыты. По возможности работы предпочтительно выполнять в ночное время. При переноске или операциях с солнечными панелями лица, производящие манипуляции, должны отмечать все выходы электрических разъемов сбоку, избегая случайного контакта с ними. Помните о всех проводах, идущих от солнечной панели, так же, как и о проводе под напряжением, идущем от питаемой сети или генератора под напряжением.

Безопасность

Фотоэлектрические солнечные панели должны всегда находиться в безопасном месте, так же, как генераторы и аккумуляторные батареи. Ориентация зданий и растительности может усложнить эту задачу, при этом планировщикам следует рассмотреть вопрос о контроле доступа.

- По возможности устанавливайте панели на крышах зданий, и в местах, редко посещаемых людьми. Избегайте террас на крышах или зон для отдыха.
- По возможности, устанавливайте массивы солнечных панелей внутри огороженных территорий, в безопасном пространстве периметровой стены. Даже если массивы находятся внутри огороженной стены, следует обеспечить знаки и барьерные ограждения, чтобы предотвратить доступ посетителей или случайных рабочих к этой зоне.
- Если массивы солнечных панелей установлены на открытом воздухе или в отдаленных местоположениях, то снаружи необходимо будет построить отдельное защитное ограждение или стену. Оборудование является дорогостоящим, и также оно может нанести вред людям и животным, проходящим мимо. Люди, не знакомые с солнечными батареями, могут подходить к ним из любопытства, поэтому

необходимо разместить таблички на соответствующем местном языке.