

Swiss Cooperation Office in the Kyrgyz Republic Кыргыз Республикасындагы Кызматташтык боюнча Швейцариялык Бюро Швейцарское Бюро по сотрудничеству в Кыргызской Республике







# Солнечные фотоэлектрические системы (ФЭС)

Тренинг Центра развития ВИЭ и энергоэффективности

Бишкек, 15 –18 апреля 2013



Выполнил: Пантелеев В.П., Заведующий лабораторией ВИЭ, КРСУ

ЦРВИЭЭ, www.creeed.net, 2013

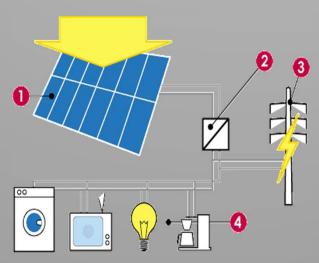
#### Фотоэлектрические системы

- Системы, состоящие из непосредственно источника тока (солнечной батареи) и элементов, обеспечивающих возможность их эксплуатации в качестве источника электроснабжения объекта.
  - системы просты в обращении
  - не имеют движущихся механизмов
  - однако содержат сложные полупроводниковые устройства

#### Основные компоненты ФЭС

- солнечная батареи (поз.1.)
- контроллер заряда (поз.2);
- батарея аккумуляторов (АБ) (поз.3);
- инвертор, (поз.2,);
- энергоэффективная нагрузка (поз.4).

Для того, чтобы фотоэлектрические модули были надежным источником электроэнергии, необходимы дополнительные элементы в системе: кабели, поддерживающая структура и, в зависимости от типа системы (соединенная с сетью, автономная или резервная)





- Фотоэлектрическую систему можно довести до любого размера (по мере возрастания энергопотребления и финансовых возможностей)
- Размещают фотоэлектрические системы обычно близко к потребителю, это значит:
  - линии электропередачи не нужно тянуть на дальние расстояния
  - не нужны трансформаторные подстанции, ЛЭП и сетевое электрооборудование

# Фотоэлектрический элемент и его принцип действия



• ФОТОЭЛЕМЕНТ — электронный прибор, который преобразует энергию фотонов в электрическую энергию. Первый фотоэлемент, основанный на внешнем фотоэффекте, создал Александр Столетов в конце XIX века.

#### Бывают:

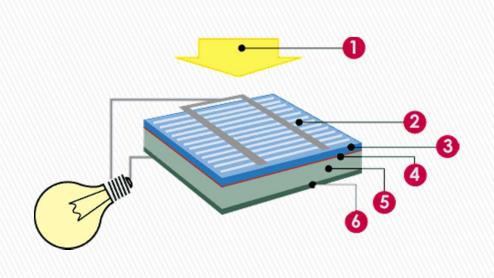
Монокристаллический фотоэлементы





Поликристаллический фотоэлементы

### Принцип действия фотоэлектрического (солнечного) элемента



- 1. солнечное излучение (фотоны),
- 2. фронтальный контакт элемента,
- 3. негативный (отрицательный) слой элемента,
- 4. слой p-n перехода, 5.позитивный (положительный) слой элемента,
- 6.тыльный контакт элемента.

Солнечные элементы (СЭ) изготавливаются из материалов, которые напрямую преобразуют солнечный свет в электричество. Большая часть, из выпускаемых в настоящее время, СЭ изготавливается из кремния (химический символ Si). Кремний это полупроводник. Он широко распространен на земле в виде песка, который является диоксидом кремния (SiO2), также известного под именем "кварцит".

Пока солнечный элемент освещается, процесс образования свободных электронов продолжается и генерируется электричество.

### Солнечные модули



#### Солнечный модуль

– это батарея взаимосвязанных солнечных элементов, заключенных под стеклянной крышкой.

Чем интенсивнее свет, падающий на фотоэлементы и чем больше их площадь, тем больше вырабатывается электричества и тем больше сила тока.



### Модули классифицируются по пиковой мощности в ваттах

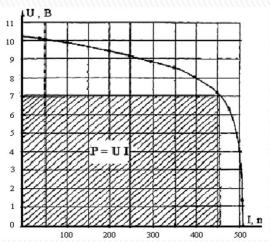
- Один *пиковый ватт* (1Вт<sub>п</sub>) техническая характеристика, которая указывает на значение мощности ФЭС в определенных условиях, т.е. когда солнечное излучение в 1 кВт/м² падает на элемент при температуре 25 °C Такая интенсивность достигается при хороших погодных условиях. Чтобы выработать один пиковый ватт, нужен один элемент размером 10 х 10 см = 100см². Более крупные модули, площадью 1 м х 0,4 м = 0,4м², вырабатывают около 40÷50 Вт<sub>п</sub> (ватт пиковой мощности)
- Однако солнечная освещенность достигает величины 1 кВт/м² в середине лета. Более того, на солнце сам модуль нагревается значительно выше номинальной температуры.
- Оба эти фактора снижают производительность модуля. В обычных условиях средняя производительность составляет около 6 Вт ⋅ ч в день и около 2000 Вт ⋅ ч в год на 1 Вт ,. Известно, что 5 ватт ⋅ час это количество энергии, потребляемое 50-ваттной лампочкой в течение 6 минут (50 Вт ⋅ ⋅ ⋅ 0,1 ч = 5 Вт ⋅ ч) или портативным радиоприемником в течение часа (5 Вт ⋅ 1 ч = 5 Вт ⋅ ч)

- Солнечные элементы собираются в солнечных модулях для того, чтобы производить больше электричества.
- Солнечные панели(фотоэлектрические или солнечные модули) производят несколько типов и размеров. Наиболее типичные это кремниевые фотоэлектрические модули мощностью 40–60Вт<sub>пик</sub> (пиковый ватт, т.е. мощностью максимум в 40–60 Вт при ярком солнце).
- Солнечные панели могут соединяться между собой для того, чтобы получить большую мощность (например, 2 модуля по 50Вт<sub>пик</sub>, соединенные вместе, эквивалентны модулю мощностью 100Вт<sub>пик</sub>).
- ▶ КПД доступных в продаже модулей варьируется в пределах 5-15%. Это значит, что 5-15% от количества энергии, падающей на солнечный элемент, будет трансформировано в электричество. Исследовательские лаборатории во всем мире разрабатывают новые материалы для СЭ с более высоким КПД (до 30%).
- Стоимость производства также очень важна. Некоторые новые технологии (такие как, например, тонкопленочные), позволяют производить СЭ в больших масштабах, что значительно снизит стоимость элементов и модулей

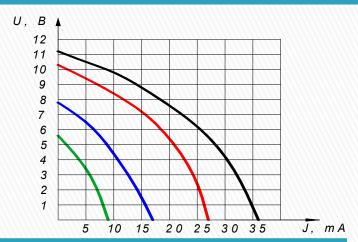
- Срок службы солнечных батарей превышает 20 лет. Другие компоненты системы имеют различные сроки службы (аккумуляторные батареи имеют срок службы от 2 до 15 лет, а силовая электроника является наиболее чувствительным элементом системы).
- Солнечный модуль может работать при любой комбинации напряжения и тока, расположенным на его вольтамперной характеристике (ВАХ). Однако в реальности модуль работает в одной точке в конкретное время. Эта точка выбирается не модулем, а электрическими характеристиками цепи, к которой данный модуль (или солнечная батарея) подключен.

#### Вольтамперная характеристика

- напряжение, при котором ток равен 0, называется напряжением холостого хода (U<sub>o</sub>).
- ток, при котором напряжение равно 0, называется током короткого замыкания (I<sub>кз</sub>). В этих крайних точках ВАХ мощность модуля равна 0
- Произведение напряжения U и тока I определяет мощность ФЭС, а с другой стороны это есть площадь фигуры обозначенной осями координат и кривой ВАХ.
- Лучшее сочетание называется точкой максимальной мощности (ТММ).
   Соответствующее напряжение и ток обозначаются как V<sub>p</sub> (номинальное рабочее напряжение) и I<sub>p</sub> (номинальный рабочий ток). Именно для этой точки определяются номинальная мощность и КПД солнечного модуля.



#### Вольтамперная характеристика (ВАХ) ФЭС при солнечном освещении



Вольтамперные характеристики ФЭС при уменьшении солнечного излучения

#### Коэффициент полезного действия ФЭУ

 Коэффициент полезного действия ФЭУ н – отношение мощности, Р выделяемой ФЭУ на нагрузке, к падающему световому потоку Ф:

$$\eta_{_{\rm H}} = \frac{I_{_{\rm H}} \cdot U_{_{\rm H}}}{\Phi}$$

• При нахождении к.п.д. ФЭС в видимой части спектра приближенно можно считать, что 1лм = 1лк⋅м²=1 / 683 Вт, тогда выражение для н можно записать в виде:

$$\eta_{\rm H} = \frac{683 \cdot I_H \cdot U_H}{E \cdot S \cdot 1} \quad (2)$$

где: Е, лк – освещенность ФЭУ (1 лк = 1 кандела  $\cdot$  1 стерадиан/м<sup>2</sup>);

S,  $M^2$  – площадь освещаемой части фотоэлементов ФЭУ; 1/683 BT=1 лм = 1лк· $M^2$ .

 Имея вольтамперные характеристики и освещенность, измеренную люксметром, можно рассчитать величину к.п.д. ФЭУ. Значение к.п.д. ФЭУ определяется потерями энергии, зависящими от применяемых материалов и конструкции фотоэлемента, а также выбором режима работы ФЭС.

Потери энергии могут быть подразделены на световые и энергетические потери

• Световые потери – это всего потери на отражение светового потока Ф от поверхности ФЭУ, зависящие от длины волны падающего света.

• Энергетические потери – потери количества возбужденных светом пар электронов и дырок или переносимой ими энергии. Эти потери обусловлены рекомбинацией носителей, не дошедших до р – n – перехода, и зависят от конструкции ФЭС, толщины наружного слоя полупроводника и состояния его поверхности.

- Получить номинальную мощность от солнечной батареи почти невозможно, невозможно, чтобы собранная система работала все время в точке максимальной мощности. Кроме изменений освещенности, на вырабатываемую мощность влияет температура солнечной батареи чем выше температура солнечной батареи, тем ниже ее мощность.
- В условиях Кыргызстана солнечная батарея в весеннелетний период выдаёт свою мощность (указанную в паспорте) в среднем t=8 часов в день (с учётом и пасмурных дней).
- Таким образом, например, **для системы с солнечными батареями Р=500 Вт,** суточный приход энергии будет равен:

$$P \cdot t = 500 \cdot 8 = 4,0 \text{ кВт} \cdot 4/\text{сутки}.$$
 (3)

• Потери в АБ ( $\eta_{AB}=85\%$ ) и МАП-е ( $\dot{\eta}_{MA\Pi}=90\%$ ), а так же потери энергии на холостом ходу МАП-а мощностью  $P_{MA\Pi}=1,6$  кВт ( $\eta_{OMA\Pi}=10\%$ ) вычитаются из общего количества электроэнергии:

$$P \cdot \eta_{AB} \cdot \eta_{MA\Pi} - P_{MA\Pi} \cdot \eta_{0MA\Pi} = 4,0 \cdot 0,85 \cdot 0,9 - 0,1 \cdot 1,6 = 2,9$$
 кВт · ч/сутки.

В последние годы разработаны новые типы материалов для СЭ. Например, тонкопленочные СЭ из медь-индий-диселенида и из CdTe (теллурид кадмия). Эти СЭ в последнее время также коммерчески используются.

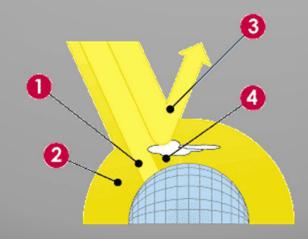
КПД солнечных элементов:					
монокристаллические:	12-15 %				
поликристаллические:	11-14 %				
аморфные:	6-7 %				
теллурид кадмия:	7-8 %				

#### Недостатки

- ▶ дороговизна за каждый Вт мощности придётся заплатить приблизительно 1-3\$. Такая стоимость обусловлена относительной технологической новизной (солнечные батареи были разработаны всего около 50 лет назад для космической отрасли) и применением монокристаллического кремния. По сути, солнечная батарея – это закрытый стеклом сплошной гигантский транзистор.
- Другим минусом является то, что СБ требуют много места для установки.

#### Ориентация солнечных панелей

- Солнечный свет проходит свой путь от Солнца до Земли по прямой линии. Когда он достигает атмосферы, часть света преломляется (диффузная радиация), а часть достигает земли по прямой линии (прямая радиация). Другая часть света поглощается атмосферой (поглощенная радиация).
- Прямая радиация наиболее интенсивная



Структура солнечного излучения:

- 1.прямое
- 2.Поглощенное
- 3.отраженное,
- 4.непрямое (рассеянное).

#### Угол наклона солнечных батарей,

- Солнечные панели наиболее эффективно работают, когда их поверхность перпендикулярна солнечным лучам. Обычно солнечные панели не находятся под оптимальным углом (90 градусов) в течение всего дня. Угол между горизонтальной плоскостью и солнечной панелью обычно называют углом наклона.
- Вследствие движения Земли вокруг Солнца, имеют место также сезонные вариации. В идеале, солнечные панели должны располагаться летом более горизонтально, чем зимой.
- Если нет возможности менять угол наклона дважды в год, то панели должны располагаться под оптимальным углом, значение которого лежит где-то посередине между оптимальными углами для лета и зимы. Для каждой широты есть свой оптимальный угол наклона панелей. Только для местностей около экватора солнечные панели должны располагаться горизонтально.
- Обычно принимается для весны и осени оптимальный угол наклона равным значению широты местности. Для зимы к этому значению прибавляется 10-15 градусов, а летом от этого значения отнимается 10-15 градусов. Поэтому обычно рекомендуется менять дважды в год угол наклона с "летнего" на "зимний". Если такой возможности нет, то угол наклона выбирается примерно равным широте местности.

Положение Солнца в зимний и летний периоды:

1. Солнце зимой 2. Солнце летом.

#### Ориентация ФЭС

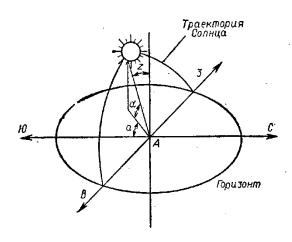


Рис. 67. Углы, определяющие положение точки A на земной поверхности относительно солнечных лучей

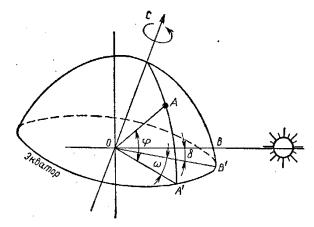


Рис. 66. Схема кажущегося движения Солнда по небосводу

Склонение Солнца в данный день определяется по формуле

$$\delta = 23,45 \sin \left( 360 \, \frac{284 + n}{365} \right),$$

$$E_{\rm R}=RE$$
,

о где

*Ep*— среднемесячное (диффузное) дневное количество рассеянного солнечного излучения, поступающей на горизонтальную поверхность (Вт/ м<sup>2</sup> :день);

Ep/E- среднемесячная дневная доля рассеянного солнечного излучения;

*Rn*– среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность;

 $\beta$ - угол наклона поверхности солнечного коллектора к горизонту;

ρ- коэффициент отражения (альбедо) поверхности Земли и окружающих тел, обычно принимаемый равным 0,7 для зимы и 0,2 для лета.

# *R<sub>n</sub>* коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной поверхности на наклонную поверхность коллектора:

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_3' + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_3' \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_3 + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_3 \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta}$$

о где

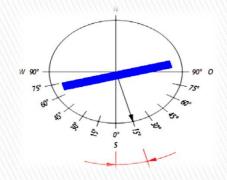
р – коэффициент отражения для подстилающей поверхности Земли.

ω<sub>3</sub>, ω<sub>3</sub> – часовые углы захода Солнца на горизонтальной и наклонной поверхностях, град. Часовой угол захода определяется:

— для горизонтальной поверхности —  $\omega_3 = \arccos(-tg\phi \cdot tg\delta)$  — для наклонной поверхности —  $\omega'_3 = \min[\omega_3; \arccos(-tg(\phi - \beta) \cdot tg\delta)]$ 

#### Азимут α

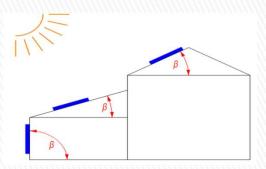
• При азимуте +15 -15° (югозападное и юго – восточное направление соответственно) среднегодовой приход солнечной энергии на поверхность солнечного коллектора уменьшается всего на 2% по сравнению с ориентированным строго на юг (азимут=0), а при азимутах +40° – на 13%, при этом наибольшее отклонение (25%) имеет место в январе – декабре, а наименьшее (5%) в июне-июле.



Установка коллектора с азимутом 15° на восток

#### Угол наклона ( $\beta$ )

- Угол наклона образуется между гелио коллектором и горизонтальной плоскостью (линией горизонта)
- С точки зрения выполняемых задач оптимальный угол наклона  $\boldsymbol{\beta}$  принимается равным: для систем отопления широте  $\varphi+15$ 0; для систем ФЭС круглогодичного действия широте  $\varphi$ , ФЭС сезонного (весна-осень) действия  $\varphi-15$ 0.
- Таким образом, оптимальный диапазон ориентации солнечного коллектора: направление на Юг плюс-минус 15 градусов и угол наклона к линии горизонта 30-60 градусов.



Установка коллектора под углом β°

- Географическое положение и климатические условия Кыргызстана являются самыми благоприятными для использования солнечной энергии. Годовое поступление солнечной радиации по Кыргызстану в среднем составляет около 2000 кВт·ч/(м²·год).
- Суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация в Кыргызстане на горизонтальную поверхность при безоблачном небе за каждый месяц года, МДж/(м²·месяц) в зависимости от географической широты местности приведена в таблице
- 1 МДж/(м<sup>2</sup>·месяц) равен 0,278 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·месяц).

Месяц	40		Геог	рафическая ц	ирота, град	CIII						
МЕСЯЦ	40			Географическая широта, град. с.ш.								
		44	48	52	56	60	64	68				
январь	322	261	207	164	113	68	35	-				
февраль	417	365	324	270	220	169	134	112				
март	639	603	565	528	467	406	405	282				
апрель	757	724	702	678	650	612	585	567				
май	893	872	862	850	840	825	824	809				
июнь	897	889	881	880	873	877	864	865				
июль	891	886	877	882	875	856	855	889				
август	803	768	736	719	695	660	641	639				
сентябрь	654	619	589	540	486	454	400	355				
октябрь	510	465	406	344	267	208	173	122				
ноябрь	358	308	254	194	127	84	56	34				
декабрь	298	234	184	126	84	47	-	-				
Итого, МДж/(м²∙г од)	7439	6994	6587									
Итого, кВт·ч/(м²· год)	2068	1944	1831	ельная клим	отопогия КР	. Kunguaara	01.06.200	0.5				

# Остальные компоненты ФЭС

#### Аккумуляторная батарея

- Накопитель энергии, выработанной солнечным модулем.
- В качестве компонента домашней солнечной энергетической установки, аккумулятор выполняет три задачи:
- Покрывает пиковую нагрузку, которую не могут покрыть сами фотоэлектрические модули (резервный запас).
- Дает энергию в ночное время (кратковременное хранение).
- Компенсирует периоды плохой погоды или слишком высокого энергопотребления (среднесрочное хранение).

- Для большой фотоэлектрической системы емкости одного аккумулятора может оказаться недостаточно. Тогда можно параллельно подключить несколько аккумуляторов, соединив все положительные и все отрицательные полюса между собой.
- При зарядке аккумулятор выделяет потенциально взрывоопасные газы. Поэтому нужно остерегаться открытого огня. Однако выделение газов незначительное, особенно если используется регулятор заряда; так что риск не превышает обычного, связанного с использованием аккумулятора в автомашине.
- Аккумуляторы нуждаются в хорошей вентиляции. Поэтому не стоит накрывать их и прятать в ящики.

- Емкость аккумулятора указывается в амперчасах.
- Емкость зависит от продолжительности процесса зарядки или разрядки. Период подзарядки указывают как индекс емкости С
- При хранении энергии в аккумуляторе определенное ее количество в процессе хранения теряется.
- Часть емкости аккумулятора теряется при каждом цикле заряд-разряд, пока не снижается настолько, что его приходится заменять.
- Солнечные аккумуляторы служат дольше, чем мощные автомобильные, срок службы которых составляет 2–3 года.

- Одна АБ емкостью 100 А·ч может питать нагрузку током 1 А в течение 100 часов, или током 4 А в течение 25 часов, и т.п., хотя емкость батареи снижается при увеличении разрядного тока. На рынке продаются батареи емкостью от 1 до 2000 А·ч.
- Емкостью аккумулятора называется количество электричества, которое аккумулятор отдает при разряде до наименьшего допустимого напряжения.
- Уем больше сила разрядного тока, тем ниже напряжение, до которого может разряжаться аккумулятор, например при определении номинальной емкости аккумуляторной батареи разряд ведется током I = 0,05С (где С − емкость одного или суммарная емкость нескольких аккумуляторов, выраженная в амперах, умноженных на часы − А·ч). До напряжения 10,5В, температура электролита должна быть в интервале от +18 до +27°С, а время разряда 20 ч. Конец срока службы батареи согласно ГОСТ 959.0-84 наступает, когда ее емкость составляет 40% от номинальной (паспортной) С<sub>н</sub>.

# Общие рекомендации по выбору типа аккумуляторов.

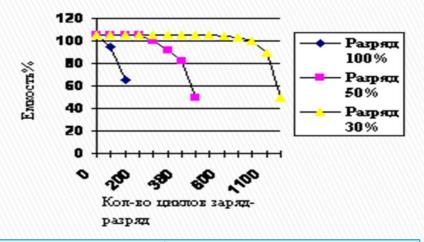
В системах бесперебойного питания могут использоваться четыре основных разновидности аккумуляторных батарей (АБ):

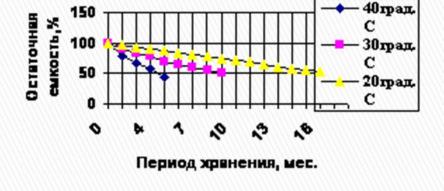
- 1) Стартерные автомобильные малообслуживаемые (проверка уровня электролита раз в год и доливка дистиллированной воды при необходимости). Их необходимо устанавливать в нежилое проветриваемое помещение. Срок службы, при оптимальных условиях эксплуатации 3 5 лет.
- 2) Стартерные автомобильные необслуживаемые герметичные.
   Их можно устанавливать в жилое помещение. Срок службы,
   при оптимальных условиях эксплуатации 3 6 лет
- 3) Стационарные типа AGM. Их можно устанавливать в жилое помещение. Срок службы, при оптимальных условиях эксплуатации до 12 лет.
- 4) Стационарные типа GEL (гелевые). Их можно устанавливать в жилое помещение. Срок службы, при оптимальных условиях эксплуатации 12 лет.

- Стационарные аккумуляторы типа АСМ, почти такие же как стартерные необслуживаемые, но имеют адсорбированный электролит (он как бы не жидкий, т.к. находится в порах стекловолоконных сепараторов) и срок их службы при соблюдении требований (например, не оставлять разряженными более 24 часов или заряжать не на 100 % и т.п.) не 6, а 12 лет. Но и цена их выше в 2 раза. Учитывая, что всё же, за долгий срок есть вероятность их разряда и длительного оставления в разряженном состоянии (или неполного заряда), их преимущества перед стартерными автомобильными необслуживаемыми герметичными АКБ весьма спорны. Менее рискованно купить последние в два раза дешевле, пусть даже их потребуется заменить раньше.
- Существуют стационарные АБ типа GEL (гелевые), электролит у них в особых сепараторах, они немного дороже чем AGM, но вот они действительно раза в 1,5-2 более устойчивы к глубоким разрядам, недозарядам и т.п. чем AGM, хотя их срок службы тоже установлен 12 лет.

## Ориентировочное время работы аккумуляторов при различных нагрузках.

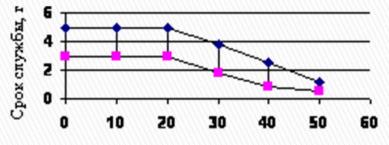
Нагрузка/ Емкость аккумулятора	100 Вт	300 Вт	500 Вт	1 кВт	2 кВт	4 кВт
4 x 190A·ч	86 ч	26 ч	26 ч	8ч 20мин	4 ч	1ч50мин
2 х 190А · ч	42 ч	13ч 15мин	13ч 15мин	3ч 50мин	1ч45мин	48мин
4 x 90A · ч	40 ч	13ч 10мин	13ч 10мин	3ч 40мин	1ч40мин	<b>4</b> 5мин
1 х 190А · ч	21 ч	6ч 10мин	6ч 10мин	1ч 40мин	<b>4</b> 5мин	13мин
2 х 90А · ч	20 ч	6 ч	6 ч	1ч 35мин	44мин	12мин
1 х 190А · ч	9ч 30мин	3 ч	3 ч	45 мин	12мин	Змин
1 х 55А·ч	5ч 40мин	1ч 45мин	1ч 45мин	13мин	Змин	-





Срок службы АБ при циклическом режиме эксплуатации и различной глубине разряда.

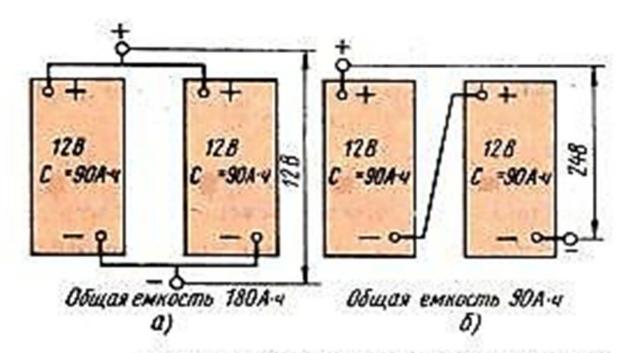
Зависимость потери емкости АБ (саморазряд) от времени при различных температурах



Температура эксплуатации, град.С

Зависимость срока службы АБ от температуры эксплуатации

# Способ соединения аккумуляторных батарей



Соединение аккумуляторных батарей: а — параллельное, б — последовательное

### Преимущества полностью необслуживаемых аккумуляторов:

- абсолютно необслуживаемые в течение всего срока службы;
- продолжительный срок службы (с сохранением остаточной емкости 80%);
- классификация Евробат высокая работоспособность (High Performance);
- очень малое газовыделение за счет системы внутренней рекомбинации;
- способность быстрого восстановления емкости;
- очень малый саморазряд: даже после 2 лет хранения (при 20°С);
- не требуется подзаряд перед вводом в эксплуатацию;
- допускается перезаряд;
- устойчивы к глубокому разряду(согласно DIN 43539 ч. 5);
- используются для аварийного энергоснабжения (согласно VDE 0108 ч.1);
- могут находиться в помещении с естественной вентиляцией.

Для них не требуется отдельного помещения. Они оснащены искрогасящим клапаном, исключающим распыление электролита и воспламенение гремучей смеси. Согласно DIN 43 539 при возрастании давления выше 30 kPa клапан аккумулятора сбрасывает избыточное давление газа.

Благодаря особенностям конструкции, именно такие аккумуляторы способны обеспечить наибольшие пусковые токи при одинаковой ёмкости с обычными аккумуляторами.

### Контроллер заряда (Регулятор заряда)

- Защищает батарею от чрезмерной зарядки и глубокой разрядки.
- Если батарея полностью заряжена, контроллер снижает уровень тока, вырабатываемого солнечным модулем до величины, компенсирующей естественные потери заряда. И наоборот, прерывает поставку энергии на потребляющие приборы, когда аккумулятор разряжается до критического уровня.
- Таким образом, внезапное прекращение энергоснабжения может быть вызвано не поломкой в системе, а результатом действия этого защитного механизма.
- Контроллеры заряда могут пострадать в результате неисправностей либо некорректного обращения с системой. Более совершенные модели оборудованы предохранителями для предотвращения повреждения регулятора и других компонентов системы.

### Инвертор

- Это преобразователь постоянного тока напряжения 12 вольт (или 24 вольта) в переменный ток напряжения 220 вольт. Инвертор использует энергию одной или нескольких аккумуляторных батарей
- С помощью инвертора можно запитать от аккумулятора любую бытовую технику и осветительные приборы. Или в местах, где нет электросети, пользоваться электроинструментами
- Параметр мощности инвертора будет зависеть от потребляемой мощности приборов и длительности автономной работы.

# Чистая или модифицированная синусоида на выходе инвертора?

- Наиболее экономичным будет использование инвертора с модифицированной синусоидой, в том случае если Вы хотите обеспечить бесперебойное питание для домашнего освещения, телевизора, холодильника.
- Приборы, которые не могут функционировать с током модифицированной синусоиды:
  - некоторые портативные компьютеры;
- лазерный принтер, копировальный, магнитооптический дисководы;
- электроинструменты с транзисторами и переменной скоростью вращения;
- некоторые зарядные устройства для беспроводных электроинструментов;
  - некоторые лампы дневного света;
  - приборы, контролируемые микропроцессорами.

- Преимуществами инверторов с чистой синусоидой являются:
- работа вышеперечисленных приборов и прочей чувствительной аппаратуры;
- меньше шума в таких приборах, как фены, лампы дневного света, аудио-усилители, факсы, игровые приставки и т.д.;
- меньшая вероятность зависания компьютера, ошибок печати принтера, перебоев и шума монитора;
- индуктивные двигатели микроволновых мечей, а также других бытовых приборов, содержащих электродвигатели, работают лучше, меньше нагреваясь.
  - Все это благодаря тому, что форма волны переменного тока 220 вольт на выходе инвертора имеет крайне малые величины гармонических искажений, и практически не отличается от стандартного напряжения бытовой сети 220 вольт.

#### Кабели

- По кабелям, соединяющим инвертор и аккумуляторные батареи, протекает очень большой ток. Поэтому необходимо правильно выбрать сечение кабеля исходя из максимальных токов, которые может потреблять инвертор.
- Очень важно, чтобы соединения были надежными и имели малое сопротивление.
- Для того, чтобы минимизировать падение напряжения в проводах между аккумуляторной батареей и увеличить эффективность использования инвертора, кабель должен быть достаточно толстым и максимально коротким.

- Провода, соединяющие различные приборы, должны иметь площадь поперечного сечения не менее 1,6 мм². Чтобы падение напряжения не превышало 3%, кабель между солнечным модулем и аккумулятором должен иметь поперечное сечение 0,35 мм² (12В) или 0,17 мм² (24 В) на 1 метр на один модуль. То есть, кабель длиной 10 м для двух модулей должен быть не тоньше: 10 х 2 х 0,35 мм² = 7 мм².
- Если часть кабеля пролегает под открытым небом, он должен быть устойчивым к плохим погодным условиям. Очень важна также его устойчивость к ультрафиолетовому излучению.

- Для того, чтобы рассчитать необходимое сечение провода для конкретной установки, нужно знать мощность инвертора или зарядного устройства, или максимальный протекающий ток через эти провода. Также нужно знать расстояние от АБ до инвертора и напряжение постоянного тока в системе.
- Можно воспользоваться следующей формулой для выбора сечения провода:

$$R = E / I \cdot L$$

R – удельное сопротивление провода в Ом/мE – максимально допустимое падение напряжение в проводе, В

I - пропускаемый ток, А

L – общая длина кабеля в системе в метрах (умножить на 2 т.к 2 провода положительный и отрицательный провод).

### Соединительные кабели для АБ

Сечение провода		іальный іый ток, А	Сопротивление			
сечение провода	Количество проводов в кабеле		Cable Clipp To Open	Ом/м		
MM <sup>2</sup>	2жильный	3жильный	2жильный	3жильны й	на жилу	
1.0	11	9	12	10	0.018	
1.5	13	12	15	13	0.012	
2.5	18	16	21	18	0.0074	
4.0	24	22	27	24	0.0046	
6.0	30	27	35	30	0.0031	
10.0	40	37	48	41	0.0018	
16.0	53	47	64	54	0.0012	
25.0	60	53	71	62	0.00073	
35.0	74	65	87	72	0.00049	

Максимальная длина кабеля (в метрах) от источника энергии до потребителя при падении напряжения меньше 2% для 12В. Сечение кабеля (мм²)

Ток, А	1	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	75	100
1	7	10.9 1	17.6 5	28.5 7	42.8 6	70.6	109. 1	176. 5	244. 9	_	-	_
2	3.53	5.45	8.82	14.2 9	21.4	35.3	54.5	88.2	122. 4	171. 4	-	-
4	1.76	2.73	4.41	7.14	10.7	17.6	27.3	44.1	61.2	85.7	130.4	_
6	1.18	1.82	2.94	4.76	7.1	11.7	18.2	29.4	40.8	57.1	87	117.6
8	0.88	1.36	2.2	3.57	5.4	8.8	13.6	22	30.6	42.9	65.25	88.2
10	0.71	1	1.76	2.86	4.3	7.1	10.9	17.7	24.5	34.3	52.2	70.6
15	_	0.73	1.18	1.9	2.9	4.7	7.3	11.8	16.3	22.9	34.8	47.1
20	_	_	0.88	1.43	2.1	3.5	5.5	8.8	12.2	17.1	26.1	35.3
25	_	_	_	1.14	1.7	2.8	4.4	7.1	9.8	13.7	20.9	28.2
30	_	_	_	_	1.4	2.4	3.6	5.9	8.2	11.4	17.4	23.5
40	_	_	_	_	_	1.8	2.7	4.4	6.1	8.5	13	17.6
50	_	_	_	_	_	_	2.2	3.5	4.9	6.9	10.4	14.1
100	_	_	_	_	_	_	_	1.7	2.4	3.4	5.2	7.1
150	190	_	_	_	_	_	_	_	_	2.3	3.5	4.7
200				_	_	_	_	_	_	_	2.6	3.5

### Устройства слежения за солнцем

- Слежение за Солнцем может привести к увеличению ежегодного производства энергии на 10% зимой и на 40% летом по сравнению с неподвижно закрепленным фотоэлектрическим модулем.
- "Слежение" реализуется с помощью монтажа солнечного модуля на подвижной платформе, поворачивающейся за Солнцем.
- Устройства слежения недешевы.
- Только при восьми и более панелях устройство слежения окупится. У этого правила есть и исключения: к примеру, когда фотоэлектрические панели напрямую питают водяной насос, без аккумулятора, тогда слежение за Солнцем выгодно для двух и более модулей. Это связано с техническими характеристиками, например, с максимальным напряжением, необходимым для питания двигателя насоса.



#### состоит из 5-ти основных этапов:

- определение нагрузки;
- определение потребляемой энергии;
- определение значений необходимой мощности инвертора и емкости аккумуляторной батареи;
- расчет стоимости системы

Если стоимость системы недопустимо велика, можно рассмотреть следующие варианты уменьшения стоимости системы автономного электроснабжения:

- уменьшение потребляемой энергии за счет замены существующей нагрузки на энергоэффективные приборы, а также исключение тепловой, "фантомной" и необязательной нагрузки;
- эамену нагрузки переменного тока на нагрузку постоянного тока. Однако, нужно учитывать особенности построения низковольтных систем постоянного тока;
- введение в систему электроснабжения дополнительного (пикового) генератора электроэнергии – ветроустановки или дизель – или бензогенератора;
- смириться с тем, что электроэнергия будет не всегда. И чем больше будет мощность системы отличаться от потребляемой мощности, тем более вероятны будут периоды отсутствия электроэнергии;

#### Расчет автономной ФЭС

- Определение энергопотребления
- Составить список устройств-потребителей электроэнергии, которые необходимо запитать от ФЭС. Определить потребляемую мощность во время их работы. Подсчитать нагрузку переменного тока

С	Ватт	x	часов/неделю	=	Вт · ч/неделю
Эл. чайник	1000	Х	5	=	5000
		X		=	
		X		=	
		X		=	
		X		=	
		X		=	
		X		=	
			Всего		

Если нет такой нагрузки, то можно пропустить этот шаг и перейти к подсчету нагрузки постоянного тока

#### Расчет автономной ФЭС

- Далее, подсчитать нужно, сколько энергии постоянного тока потребуется от ФЭС. Для этого нужно умножить получившееся значение на коэффициент 1,2, учитывающий потери в инверторе.
- Определить значение входного напряжения инвертора по характеристикам выбранного инвертора. Обычно это 12 или 24 В.
- Разделите значение энергии постоянного тока на значение входного напряжения и получить число Ампер-часов в неделю, требуемое для покрытия нагрузки переменного тока.

### Подсчитать нагрузку постоянного тока

 Типовая бытовая нагрузка потребителей постоянного тока.

Описание нагрузки постоянного тока	Ватт	x	часов/неде лю	=	Вт·ч/недел ю
Теплоэлектронагреватель (ТЭН)	1500	X	10	=	15000
		Х		=	
		х		=	
		х		=	
		х		=	
			Всего		

- Определить напряжение в системе постоянного тока. Обычно это 12 или 24 В.
- Определить требуемое количество А · ч в неделю для нагрузки постоянного тока.
- Определить суммарную требуемую емкость аккумуляторной батареи. Это будет количество A·ч, потребляемых в неделю.
- Разделить значение емкость на 7 дней; получить суточное значение потребляемых А · ч.

• Оптимизировать нагрузку

На этом этапе важно проанализировать нагрузку и попытаться уменьшить потребляемую мощность как можно больше.

Определить состав и размер аккумуляторной батареи (АБ)

Выбрать *тип аккумуляторной батареи*, которую следует использовать.

 Определить максимальное число последовательных "дней без солнца"

То есть, когда солнечной энергии недостаточно для заряда АБ и работы нагрузки из-за непогоды или облачности.

- Определить величину разряда АБ в пасмурные дни.
- Умножить суточное потребление в А · ч на количество дней, определенных в предыдущем пункте
- Определить глубину разряда АБ за указанный период.
- Задаться величиной глубины допустимого разряда АБ. Учитывая, что чем больше глубина разряда, тем быстрее АБ выйдет из строя. Ни при каких обстоятельствах разряд батареи не должен превышать 80%!
- 2 Разделить величину разряда в пасмурные дни (А·ч)
  на п.1.
- З Выбрать коэффициент из таблицы 3, приведенной ниже, который учитывает температуру окружающей среды в помещении, где установлены АБ. Этот коэффициент учитывает уменьшение емкости АБ при понижении температуры.

# Температурный коэффициент для аккумуляторной батареи.

Температур				
Фаренгейта	Цельсия	коэффициент		
80F	26,7C	1,00		
70F	21,2C	1,04		
60F	15,6C	1,11		
50F	10,0C	1,19		
40F	4,4C	1,3		
30F	-1,1C	1,4		
20F	-6,7C	1,59		

- Рассчитать общую требуемую емкость АБ.
- Определить количество батарей, которые будут соединены параллельно.
- Разделить номинальное напряжение постоянного тока системы (12, 24 или 48В) на номинальное напряжение выбранной аккумуляторной батареи (обычно 2, 6 или 12В). Округлить полученное значение до ближайшего большего целого и получить значение последовательно соединенных батарей.
- Подсчитать требуемое количество аккумуляторных батарей.

### Определение количества пиковых солнце-часов в день для ФЭС.

- Несколько факторов влияют на то, как много солнечной энергии будет принимать солнечная батарея ФЭС:
  - -когда будет использоваться система? Летом? Зимой? Круглый год?;
  - -типичные погодные условия местности, где эксплуатируется ФЭС;
  - -будет ли система ориентироваться на солнце;
  - -расположение и угол наклона фотоэлектрических модулей.
- Для определения среднемесячного прихода солнечной радиации можно воспользоваться <u>таблицей прихода солнечной радиации</u> СНиП «Строительная климатология Кыргызстана» для некоторых городов.
- Выработка электроэнергии солнечной фотоэлектрической батареей ФЭС зависит от угла падения солнечных лучей на нее. Максимум бывает при угле 90 градусов.
- Зимой приход радиации значительно меньше. Для надежного электроснабжения выбирать из среднемесячных значений наименьшее для периода, в течение которого будет использоваться ФЭС.
- Выбранное среднемесячное значение для худшего месяца нужно разделить на число дней в месяце. получится среднедневное количество пиковых солнце-часов, которое будет использоваться для расчета СБ.

# Выбор солнечной фотоэлектрической батареи

- Выбрать модуль из списка предлагаемых. Для определения характеристик и цен фотоэлектрических модулей следует обратиться на соответствующую страницу Интернет-магазина.
- Далее необходимо определить общее количество модулей, необходимых для системы ФЭС.
- Ток в точке максимальной мощности І<sub>трр</sub> может быть определен из спецификаций модулей, а также можно определить І<sub>трр</sub> поделив номинальную мощность модуля на напряжение в точке максимальной мощности U<sub>трр</sub> (обычно 17 17.5 В для 12-вольтового модуля).
- Учесть потери на заряд-разряд АБ
- 5.2. Разделить полученное значение на среднее число пиковых солнце-часов в вашей местности. Вы получите ток, который должна генерировать СБ.
- 5.3. Для определения числа модулей, соединенных параллельно разделить значение пиковых солнце-часов на I<sub>mpp</sub> одного модуля. Округлить полученное число до ближайшего большего целого.
- 5.4. Для определения числа модулей, соединенных последовательно, разделить напряжение постоянного тока системы (обычно 12, 24, 48 В) на номинальное напряжение модуля (обычно 12 или 24 В).
- 5.5. Общее количество требуемых фотоэлектрических модулей равно произведению числа модулей соединенных

#### Расчет стоимости системы

Для расчета стоимости фотоэлектрической системы электроснабжения нужно сложить стоимости СБ, АБ, инвертора, контроллера заряда АБ и соединительной арматуры (провода, выключатели, предохранители и т.п.).

#### Готовая таблица для расчета системы

Для удобства составляется специальная таблица расчета фотоэлектрической системы в виде таблице MS Excel.

Существует несколько программ подобного расчета в Интернет сети.

Можно воспользоваться <u>online формой расчета</u> фотоэлектрической системы, <u>PV syst v5.03 Multilingual</u>, которая позволит произвести расчет почти всех технических параметров автономной фотоэлектрической системы

(<a href="http://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=2425490">http://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=2425490</a>).

Определиться, нужна ли готовая система или следует собирать систему электроснабжения из компонентов отдельно.



• если нужна специфическая система, то можно выбрать соответствующее оборудования для этого в каталоге. Для этого потребуются следующие компоненты системы: контроллер заряда; инвертор; соединительные провода; –предохранители, переключатели и разъемы; измерители и индикаторы; инструмент для монтажа; резервный генератор.

### Типы фЭС



# Есть три основных типа солнечных фотоэлектрических систем:

- а) Автономные системы, обычно применяемые для электроснабжения отдельных потребителей;
  - б) Системы, соединенные с сетью;
    - в) Резервные системы;
  - г) Автономные фотоэлектрические системы (АФС)

### Автономные фотоэлектрические системы

- Используются там, где нет сетей централизованного электроснабжения.
- АФС часто используются для электроснабжения отдельных потребителей. Малые системы позволяют питать базовую нагрузку (освещение и иногда телевизор или приборы). Более мощные системы могут также питать водяной насос, радиостанцию, холодильник, электроинструмент и т.п.
- Система состоит из солнечной панели, контроллера, аккумуляторной батареи, кабелей, электрической нагрузки и поддерживающей структуры

Автономная фотоэлектрическая система.

- 1. солнечные панели,
- 2. контроллер
- 3. аккумуляторная батарея (АБ),
- 4.нагрузка.

#### Системы, соединенные с сетью

- Когда есть сеть централизованного электроснабжения, но есть желание иметь электроэнергию от чистого источника (солнца), солнечные панели могут быть соединены с сетью. При условии подключения достаточного количества фотоэлектрических модулей, определенная часть нагрузки в доме может питаться от солнечного электричества.
- Соединенные с сетью фотоэлектрические системы обычно состоят из одного или многих модулей, инвертора, кабелей, поддерживающей структуры и электрической нагрузки.

Для соединения фотоэлектрических панелей с сетью используется инвертор.

 Фотоэлектрическая система, соединенная с электросетью.

1.солнечные панели,

2.инвертор,

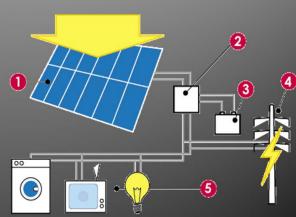
3.сеть,

4.нагрузка.

### Резервные фотоэлектрические системы

- Резервные солнечные системы используются там, где есть соединение с сетью централизованного электроснабжения, но сеть ненадежна (веерные отключения).
- Резервные системы могут использоваться для электроснабжения в периоды, когда нет напряжения в сети.
- Система состоит из фотоэлектрических модулей, контроллера, аккумуляторной батареи, кабелей, инвертора, нагрузки и поддерживающей структуры
  - Резервная фотоэлектрическая система.

1.солнечные панели, 2.инвертор, 3.батарея 4.сеть, 5.нагрузка



# Аккумуляторно-инверторный автоматический источник питания 220 В с ФЭС

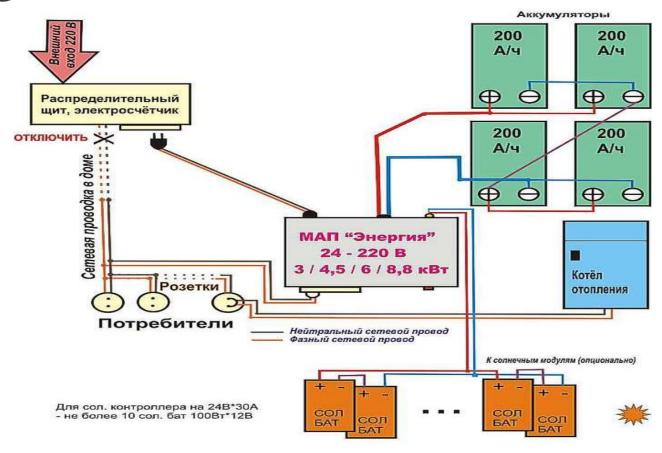


Схема построения аккумуляторно-инверторного источника питания 220 В от солнечной ФЭС.

### Спасибо за внимание!