

Солнечная энергетика



Энергия:

- до середины XIX века – доминирование дров и мускульной силы животных;*
- конец XIX века – начало XX века – применение угля вместо дров и паровых машин;*
- середина XX века – конец XX века – нефть, позже газ;*
- начало XXI века ... энергия деления урана...*

Тенденции:

- Смена каждые 40-50 лет доминирующего энергоресурса (но не из-за исчерпания его запасов, а благодаря более высокому качеству нового);*
- прежние энергоресурсы никогда не вытесняются полностью, а лишь снижают свою долю в производстве и потреблении первичной энергии;*
- Каждый следующий доминирующий энергоресурс имеет примерно вдвое более высокое качество.*

Тенденция к диверсификации энергоснабжения

Рост автономности потребителей

Индивидуальная энергетика

ИСТОРИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Год	Изобретение
1839	Физическое явление, позволяющее свето-электрическое преобразование – фотоэлектрический эффект, который открыл в 1839 году французский физик Александр Эдмон Беккерель. Экспериментируя с металлическими электродами и электролитом, он обнаружил, что электропроводность повышается под действием освещения (Рис. 3.1).
1873	У. Смит открыл фотоэлектрический эффект в селене с КПД около 1%.
1905	Альберт Энштейн описал явление фотоэлектрического эффекта в теоретической работе (за что в 1921 году был награжден Нобелевской премией)
1954	Bell Laboratories разработали кремниевую солнечную батарею с КПД 4,5%
1958	Первое использование солнечных батарей в космических технологиях для энергоснабжения спутников
1960	Разработка фотоэлектричества в Германии благодаря AEG
1966	Первые CdS/Cu ₂ O тонкослойные солнечные батареи
1974	Первые аморфные кремниевые солнечные батареи
1983	Первая фотоэлектрическая электростанция > 1 MWp
1985	Первая кремниевая солнечная батарея с к.п.д. > 20%
1989	Первая солнечная батарея на основе тандемных ФЭП с КПД > 30%
1990	В Германии стартует Программа «1000 Солнечных Крыш»
1994	В Японии начинается субсидирование Программы по поддержке фотоэлектричества «70000 солнечных крыш»
2007	В мире с помощью солнечных батарей производится: 4,300 MWp
2020	<i>Ожидается производство более, чем 50 GWp (!)</i>

Поток солнечного излучения, проходящий через площадку в 1 м^2 , расположенную перпендикулярно потоку излучения на расстоянии одной астрономической единицы от центра Солнца (на входе в атмосферу Земли), равен 1367 Вт/м^2 (солнечная постоянная).

Из-за поглощения, при прохождении атмосферной массы Земли, максимальный поток солнечного излучения на уровне моря (на Экваторе) — 1020 Вт/м^2 .

Однако следует учесть, что среднесуточное значение потока солнечного излучения через единичную горизонтальную площадку как минимум в три раза меньше (из-за смены дня и ночи и изменения угла солнца над горизонтом). Зимой в умеренных широтах это значение в два раза меньше.

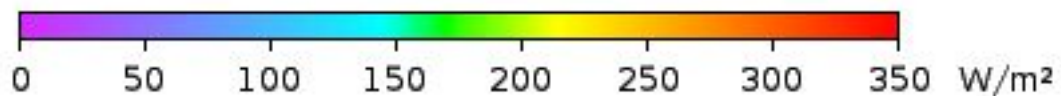
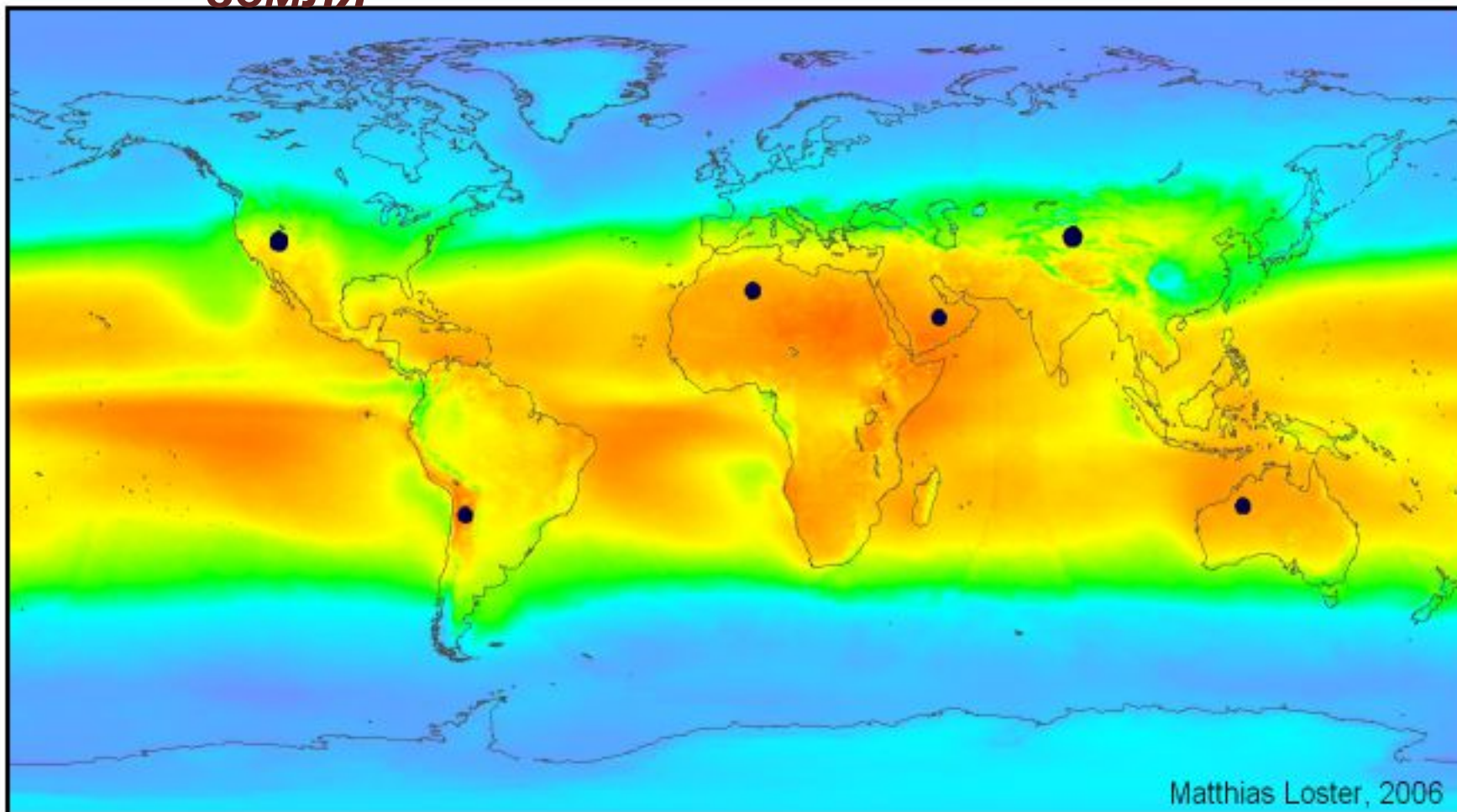
Достоинства

- Общедоступность и неисчерпаемость источника.
- Теоретически, полная безопасность для окружающей среды

Недостатки

- Зависимость от погоды и времени суток.
- Как следствие, необходимость аккумуляции энергии.
- При промышленном производстве -- необходимость дублирования солнечных ЭС маневренными ЭС сопоставимой мощности.
- Высокая стоимость конструкции, связанная с применением редких элементов (к примеру, индий и теллур).
- Необходимость периодической очистки отражающей поверхности от пыли.
- Нагрев атмосферы над электростанцией.

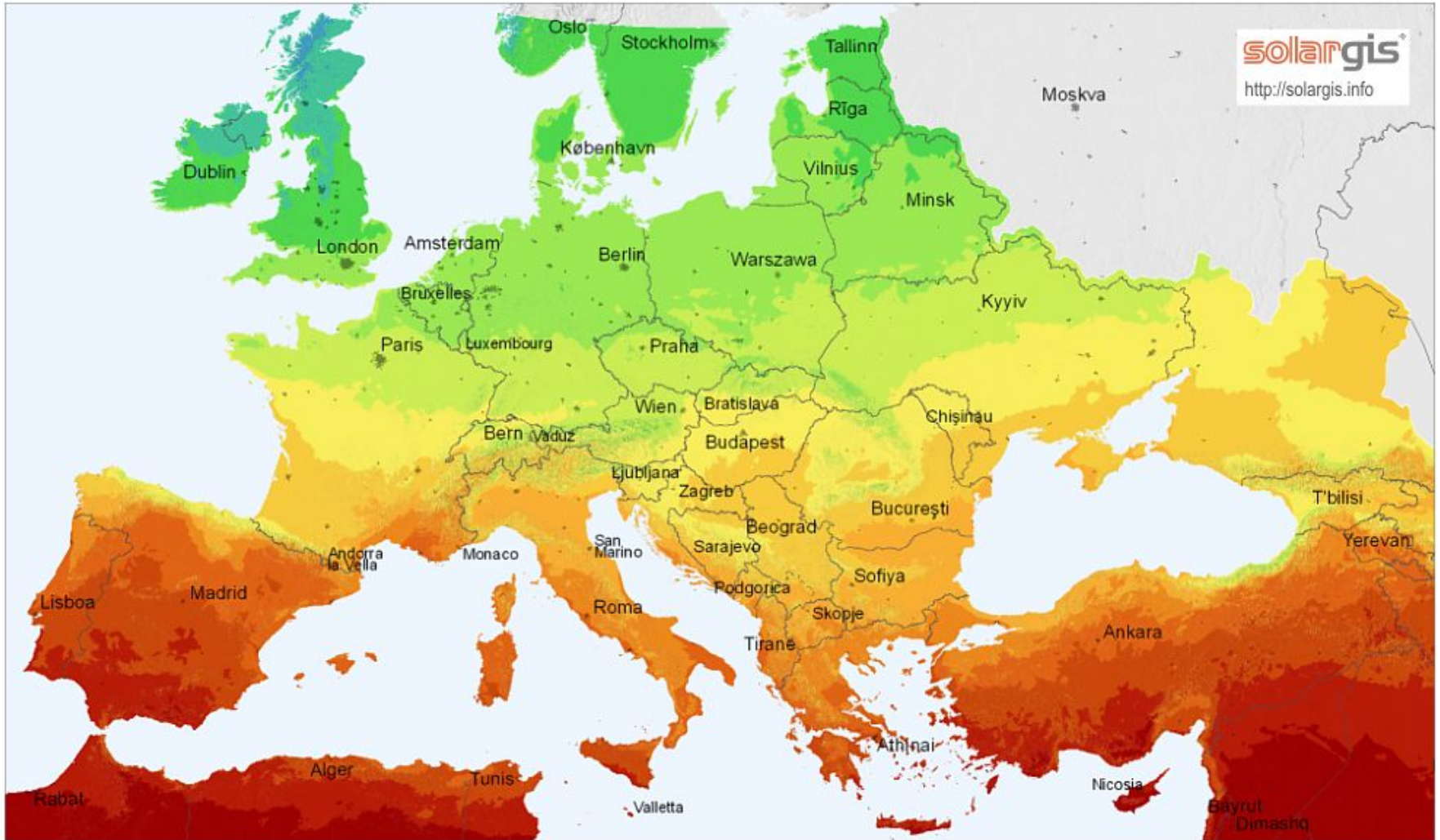
Карта солнечного излучения планеты земля



$$\Sigma \bullet = 18 \text{ TWe}$$

Global horizontal irradiation

Europe



Average annual sum (4/2004 - 3/2010)



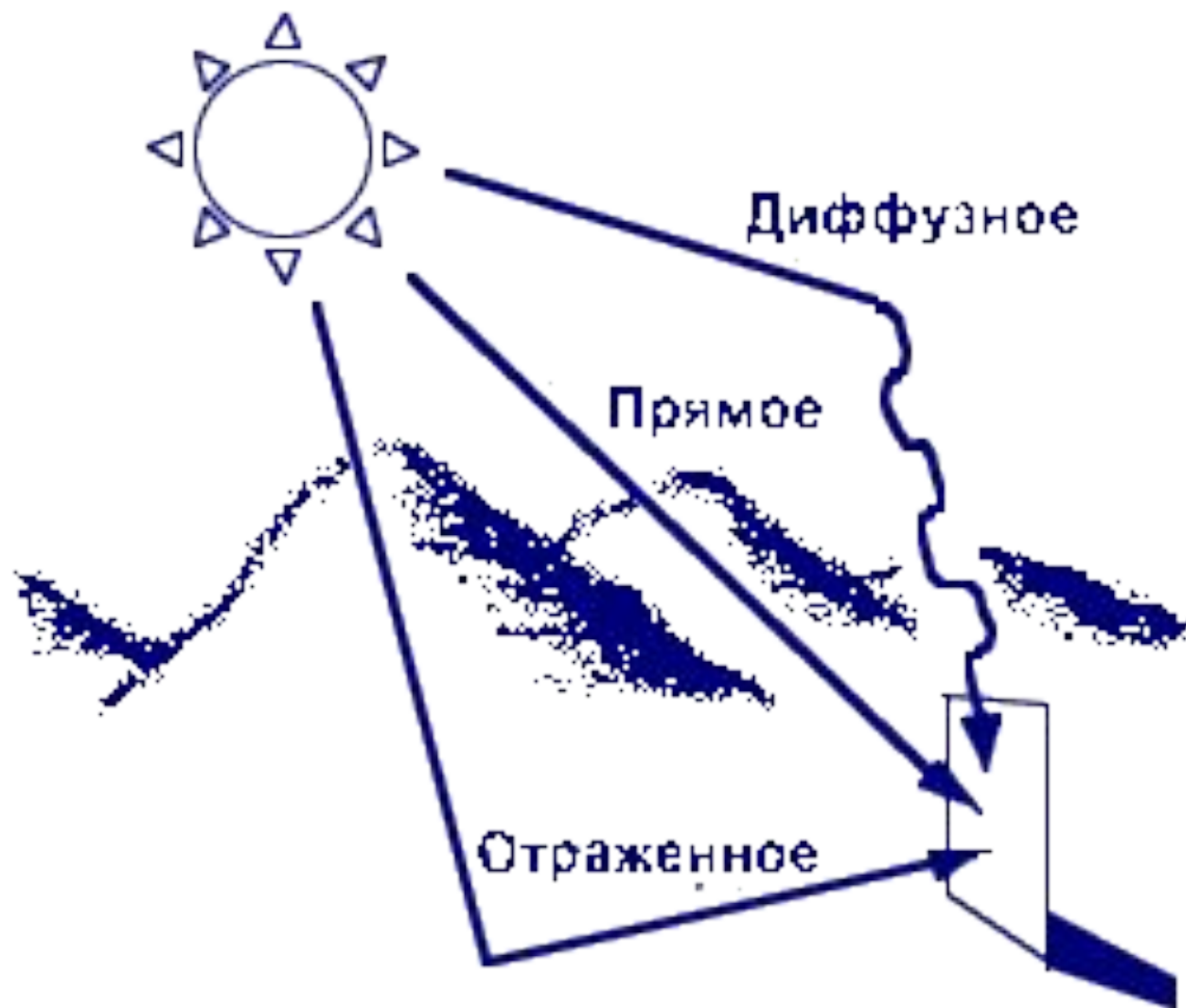
< 700 900 1100 1300 1500 1700 1900 > kWh/m²

0 250 500 km

© 2011 GeoModel Solar s.r.o.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Преимущества	Недостатки
<p>Экологически безопасные, чистые, не вызывают глобального потепления, кислотных дождей или смога, помогают в уменьшении парниковых газов, тихое производство энергии</p>	<p>Малый КПД, применение большого количества солнечных панелей для производства необходимого электричества, следовательно, использование большого пространства земли</p>
<p>Могут использоваться на крышах существующих зданий</p>	<p>Чувствительны к механическим повреждениям</p>
<p>Оборудование требует малого технического обслуживания для большого периода времени.</p>	<p>Очень дорогостоящие</p>
<p>Возобновляемый, неограниченный и бесплатный источник энергии</p>	<p>Зависит от погодных условий, производство энергии возможно лишь в дневное время</p>
<p>Фотоэлектрическая энергия является локально доступным возобновляемым источником энергии, его не нужно импортировать из других регионов. Он производится там, где используется</p>	<p>При производстве фотоэлектрических устройств применяются некоторые токсичные химические элементы, такие как (Cd, As). Такие влияния на окружающую среду незначительны и могут легко регулироваться при помощи повторного использования отходов и их специфического измельчения</p>
<p>Оборудование легко устанавливается</p>	
<p>Оно подвержено старению и может окончиться(прекратить производство электроэнергии при старении)</p>	
<p>Может применяться для различных целей</p>	
<p>Новые технологии позволяют сохранить произведенную солнечную энергию благодаря зарядным агрегатам солнечной батареи</p>	
<p>Фотоэлектрическая система может быть сконструирована любого размера в зависимости от энергетических требований</p>	



Энергия Солнца может быть преобразована в различные формы энергии:

- Тепло: солнечные коллекторы преобразуют низкотемпературное тепло в зданиях для отопления пространства и нагрева воды для домашних нужд, и тепловые охладители используются для охлаждения. Концентратор прямого солнечного света может применяться для производства высокой температуры в промышленных целях, таких как производство электрической энергии на тепловых электростанциях.

- Электричество: при помощи фотоэлектрического генерирования прямое и рассеянное солнечное излучение преобразуется в электричество.

- Химическая энергия: благодаря процессам фотокатализа в химическом реакторе или реакциям, таким как природный фотосинтез, солнечная энергия может быть преобразована в химическую энергию.

Лишь малая часть (около 5 %) излучаемой солнечной энергии достигает поверхности Земли. Это происходит из-за различных процессов в атмосфере Земли, таких как отражение, поглощение и рассеивание

КПД солнечного преобразователя

$$\eta_{\text{ФЭП}} = \frac{W_{\text{ПР}}}{W_{\text{СВ}}},$$

где $W_{\text{ПР}}$ – производимая электроэнергия;
 $W_{\text{СВ}}$ – энергия падающего солнечного света.

Виды солнечных преобразователей

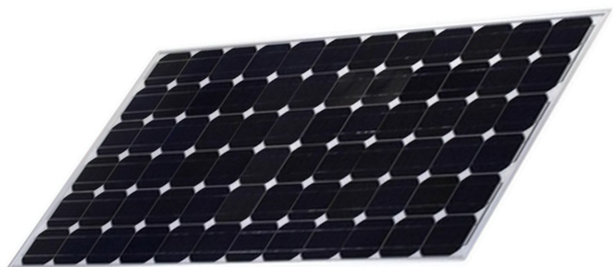


- Монокристаллические;
- Поликристаллические;
- Солнечные модули из аморфного кремния;
- Арсенид-галиевые (AsGa).
- Тонкопленочные;

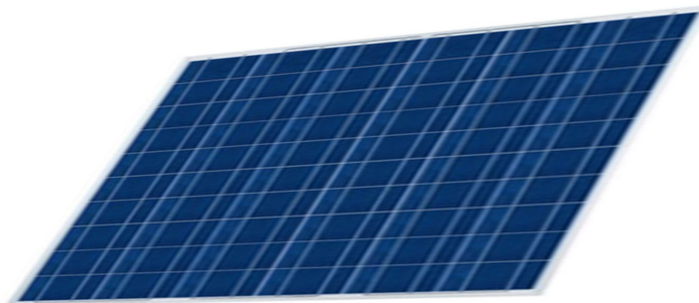
**Максимальные значения эффективности фотоэлементов и модулей,
достигнутые в лабораторных условиях^[9]**

Тип	Коэффициент фотоэлектрического преобразования, %
Кремниевые	
Si (кристаллический)	24,7
Si (поликристаллический)	20,3
Si (тонкопленочная передача)	16,6
Si (тонкопленочный субмодуль)	10,4
III-V	
GaAs (кристаллический)	25,1
GaAs (тонкопленочный)	24,5
GaAs (поликристаллический)	18,2
InP (кристаллический)	21,9
Тонкие пленки халькогенидов	
CIGS (фотоэлемент)	19,9
CIGS (субмодуль)	16,6
CdTe (фотоэлемент)	16,5
Аморфный/Нанокристаллический кремний	
Si (аморфный)	9,5
Si (нанокристаллический)	10,1
Фотохимические	
На базе органических красителей	10,4
На базе органических красителей (субмодуль)	7,9
Органические	
Органический полимер	5,15
Многослойные	
GaInP/GaAs/Ge	32,0
GaInP/GaAs	30,3
GaAs/CIS (тонкопленочный)	25,8
a-Si/mc-Si (тонкий субмодуль)	11,7

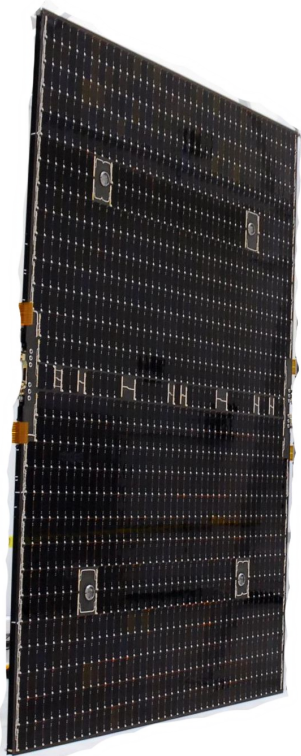
Монокристаллические ФЭП



Поликристаллические ФЭП



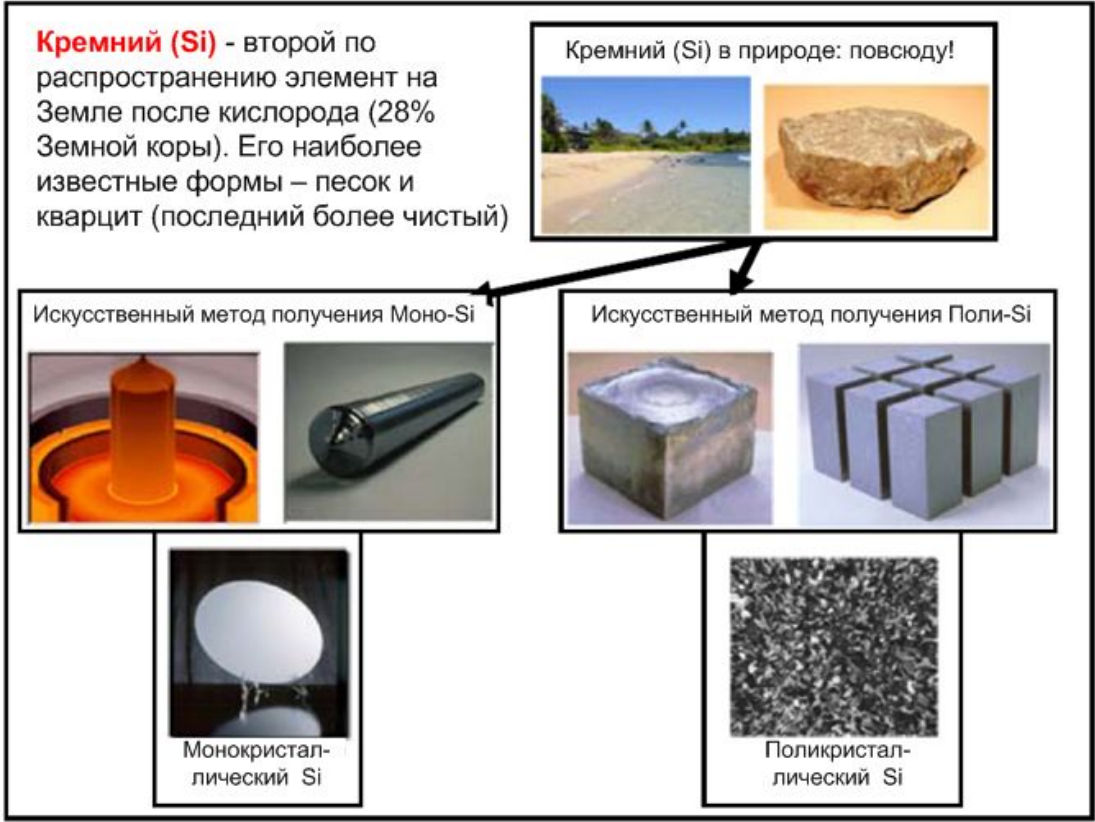
Арсенид-галиевые ФЭП

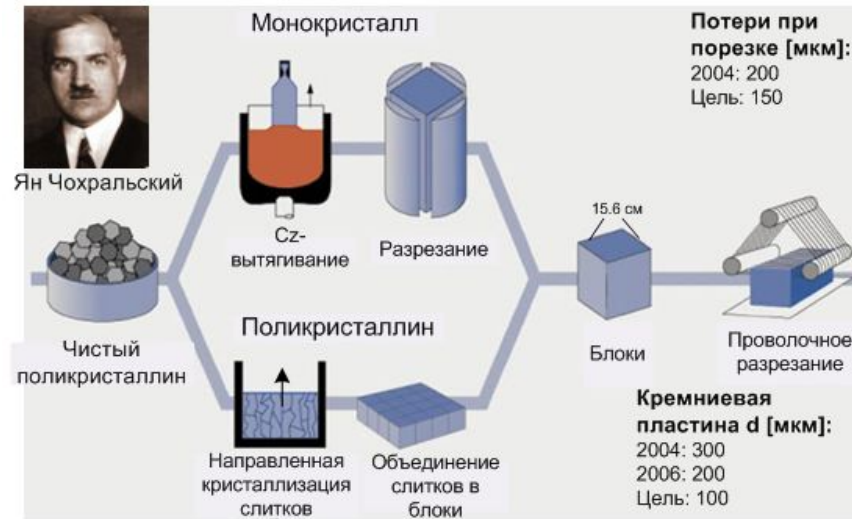


Тонкопленочные ФЭП



ФЭП на основе монокристаллического кремния наиболее широко распространены в наше время





Ян Чохральский

В сравнении с некристаллическими материалами монокристаллический кремний имеет следующие преимущества благодаря своей однородной структуре:

- Высокая эффективность преобразования энергии – он производит больше электричества для данной площади, освещенной солнечным светом (на сегодняшний день около 15-20 %.)
- Высокая надежность для находящихся на открытом воздухе энергоприменений

Поликристаллический кремний

ФЭП на основе поликристаллического кремния состоят из множества зерен монокристаллического кремния и, в силу этого факта, они имеют меньший КПД по сравнению с монокристаллическими ФЭП. Границы зерен препятствуют потоку электронов и уменьшает генерирование энергии преобразователем (их эффективность преобразования энергии около 10-14 %). Наиболее передовым методом производства поликристаллического ФЭП является «выращивание ленты кремния», в котором кремний растет непосредственно как тонкая лента или лист с подходящей толщиной для создания ФЭП.

Поликристаллические кремниевые ФЭП имеют некоторые преимущества по сравнению с монокристаллическими ФЭП:

- они прочнее,
- могут быть разрезаны на одну треть толщины монокристаллического материала,
- имеют немного ниже стоимость пластины и менее строгие требования к росту.

Арсенид галлия

Арсенид галлия (GaAs) состоит из двух элементов: галлий (Ga) и арсенид (As), GaAs имеет кристаллическую структуру, похожую на кремний.

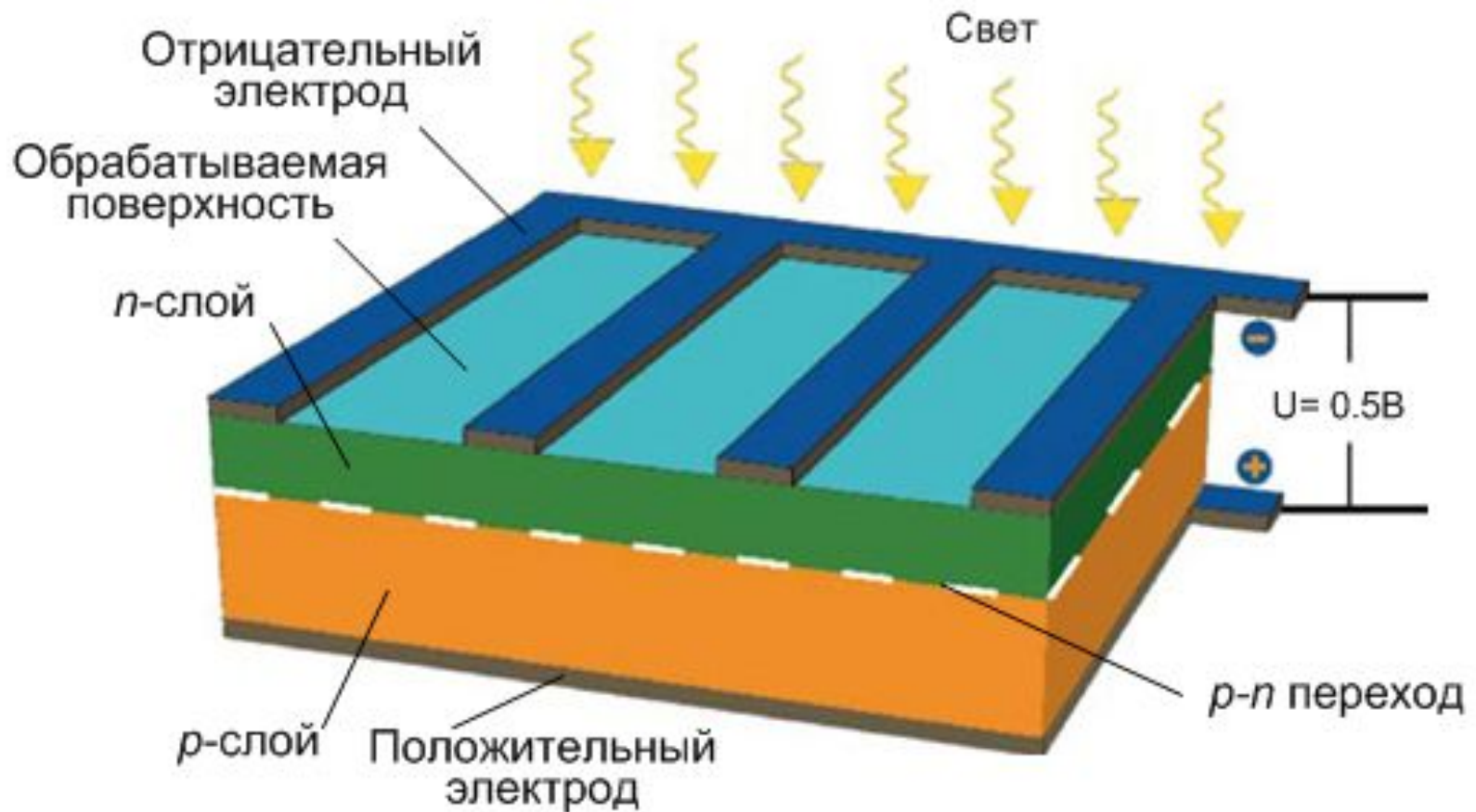
GaAs имеет следующие преимущества:

- высокий уровень светопоглощения;
- выше эффективность преобразования энергии, чем у кристаллического кремния (около 25 – 30 %)
- высокая жаропрочность делает его лучшим для концентраторных систем, в которых температура ФЭП очень высокая.
- GaAs популярен для космических применений, где необходимо высокое сопротивление радиационному повреждению и высокий к.п.д. ФЭП.

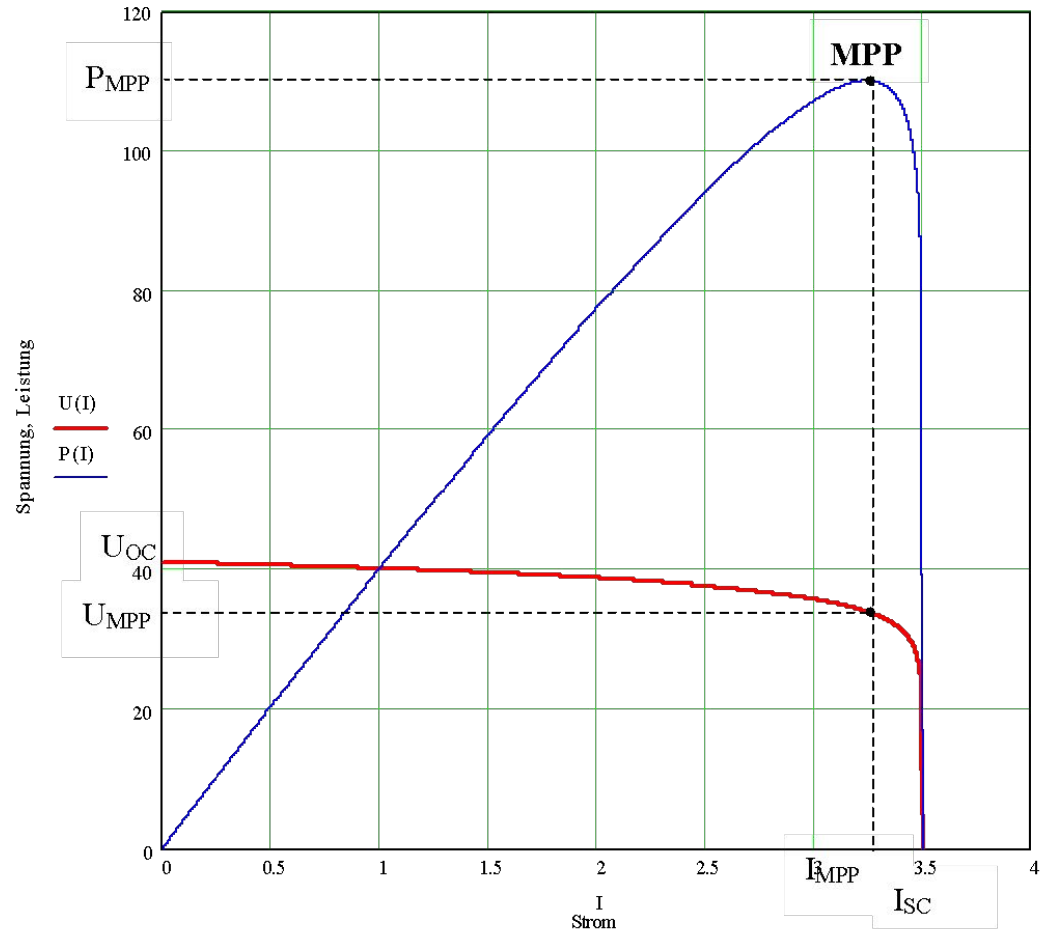
Самым большим недостатком GaAs ФЭП является очень дорогая монокристаллическая подложка, на которой GaAs растет (таким образом, он используется в концентраторных системах, где необходима лишь малая часть GaAs ФЭП).



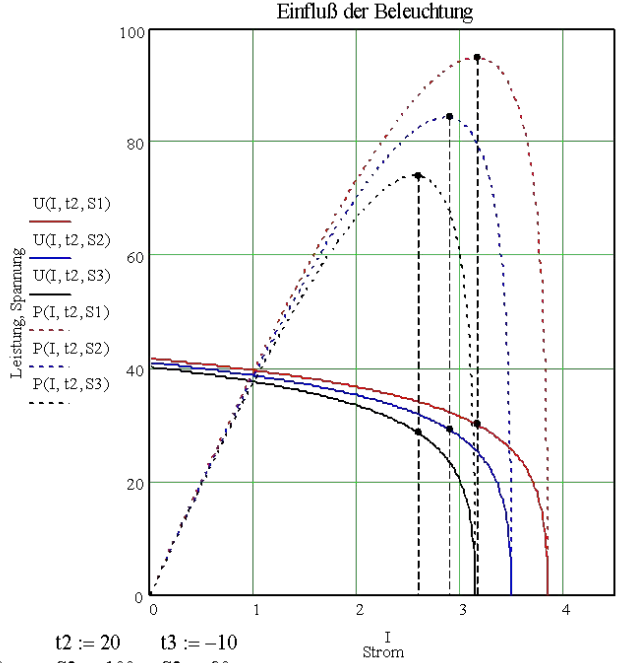
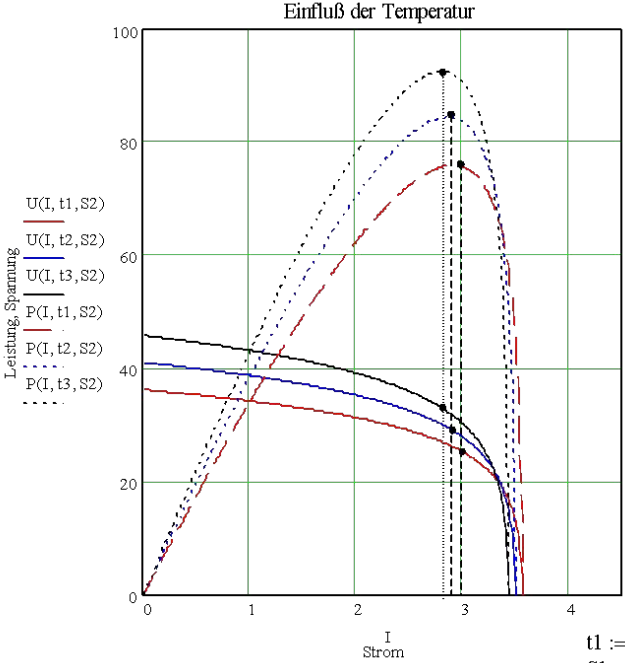
Внутренняя структура ФЭП



Вольтамперная и нагрузочная характеристики солнечного элемента

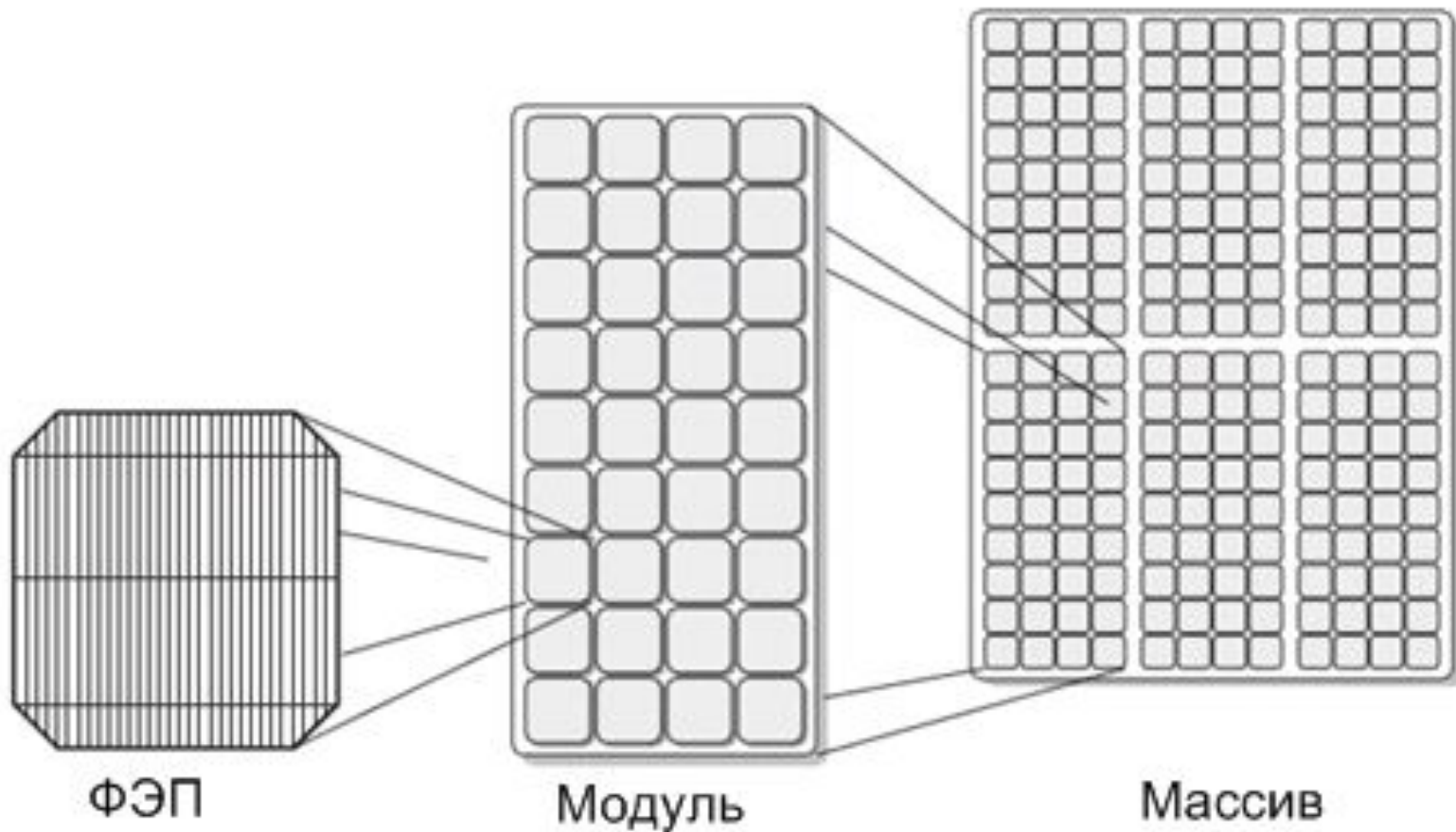


Температура окружающей среды влияет на выходные значения напряжения и тока солнечного элемента. Напряжение холостого хода убывает при увеличении температуры на 3 мВ/К, а ток короткого замыкания возрастает при увеличении температуры на 0.1% А/К.



Влияние температуры T (в градусах Цельсия) и освещённости S (в % от номинального значения) на кривые солнечного элемента

Формирование фотоэлектрических массивов

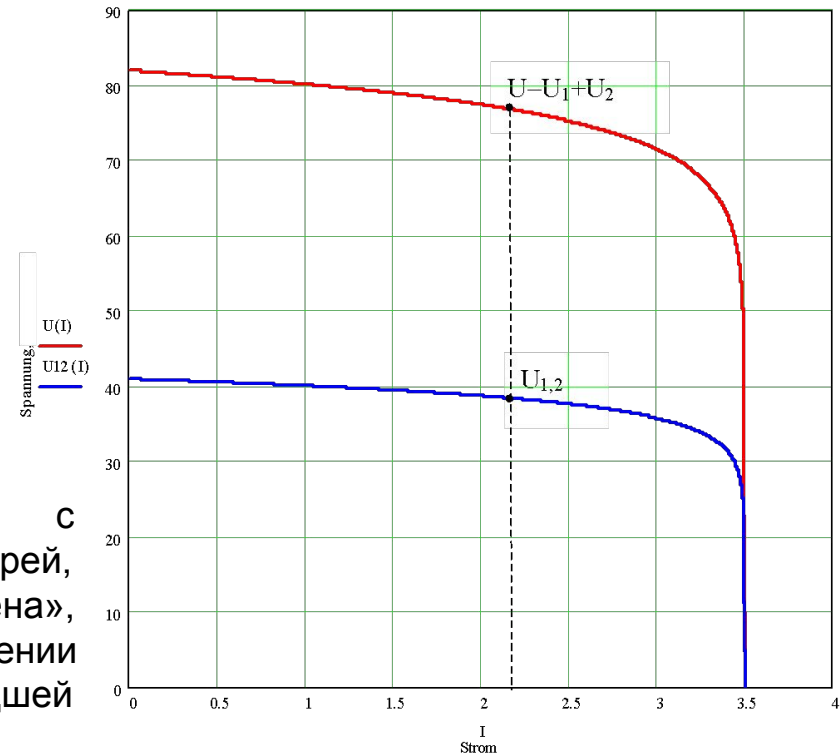
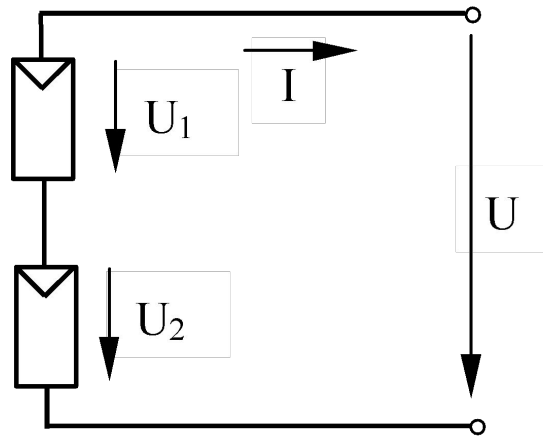


Мощность одной солнечной батареи относительно мала (около $10-15 \text{ мВт/см}^2$). Для снабжения потребителей электроэнергией от фотогенератора необходимо включать несколько батарей одновременно.

Требования к фотоэлектрическим модулям:

- Срок эксплуатации 20-30 лет при широком диапазоне температур (от -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$) на поверхности ФЭП,
- Защита от влаги;
- Защита от механических повреждений,
- Защита от воздействия различных вредных бактерий и животных.

Последовательное и параллельное соединение модулей



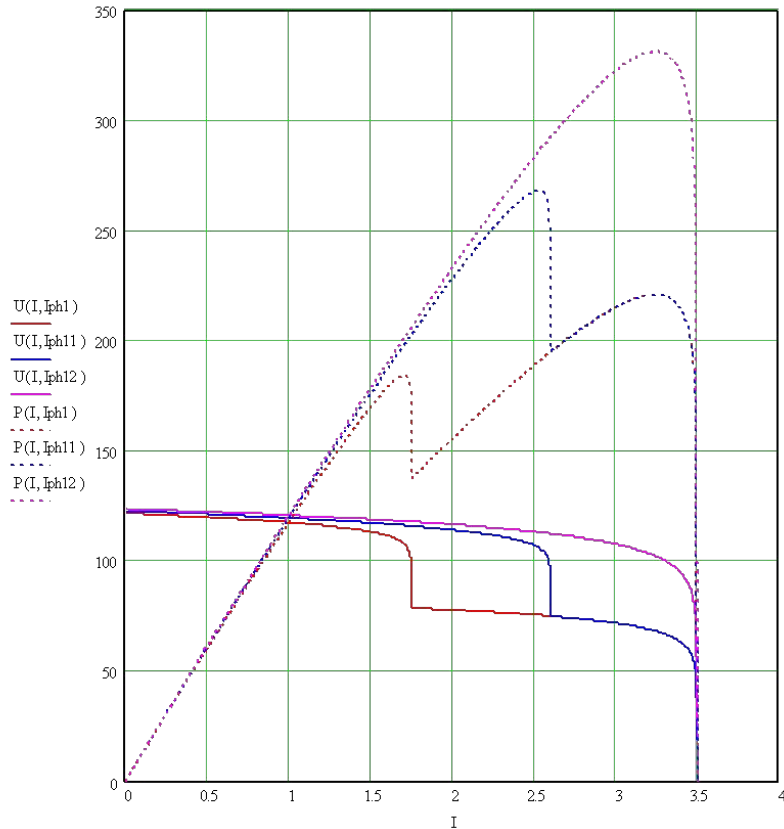
Существенным недостатком фотогенератора с последовательным включением солнечных батарей, является так называемый эффект «слабого звена», заключающийся в том, что при частичном затемнении системы, её свойства определяются элементом с худшей вольтамперной характеристикой.

К примеру, если хотя бы один элемент вышел из строя, либо выдаёт пониженную мощность, в результате загрязнения, то это существенно сказывается на всей системе.

**ВАХ фотогенератора,
состоящего из двух последовательно
включенных солнечных батарей**

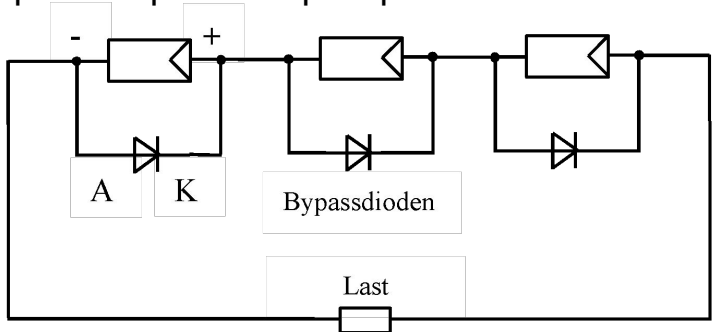
ВАХ фотогенератора, состоящего из двух идентичных по параметрам и одинаково освещаемых солнечных батарей, получается из ВАХ отдельных модулей путём сложения величин напряжения в каждой точке тока.

С целью предупреждения таких неблагоприятных режимов работы, параллельно солнечным модулям включаются обходные диоды, которые предотвращают возникновение перенапряжений на солнечных модулях. В идеальном случае такие диоды необходимо было бы установить на каждом солнечном элементе, что привело бы к изменению ВАХ и нагрузочной характеристик фотогенератора.



Вольтамперная и нагрузочная характеристики фотогенератора из трёх солнечных модулей с обходными диодами, при затемнение одного модуля

- 50 % затемнения
- 25 % затемнения
- нет затемнения



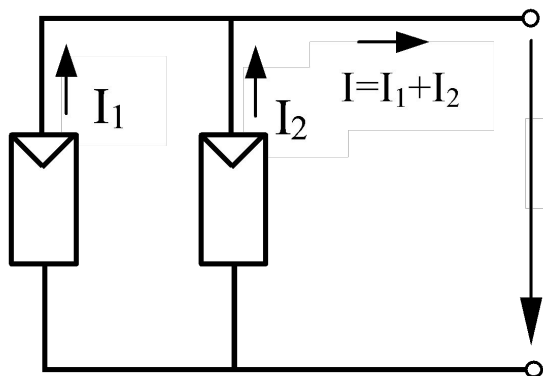
Фотогенератор с обходными диодами

Затемнение даже одного модуля приводит к существенному снижению мощности. Вид кривой изменяется, и появляются две точки максимума. При этом выходная мощность и КПД фотогенератора уменьшаются.

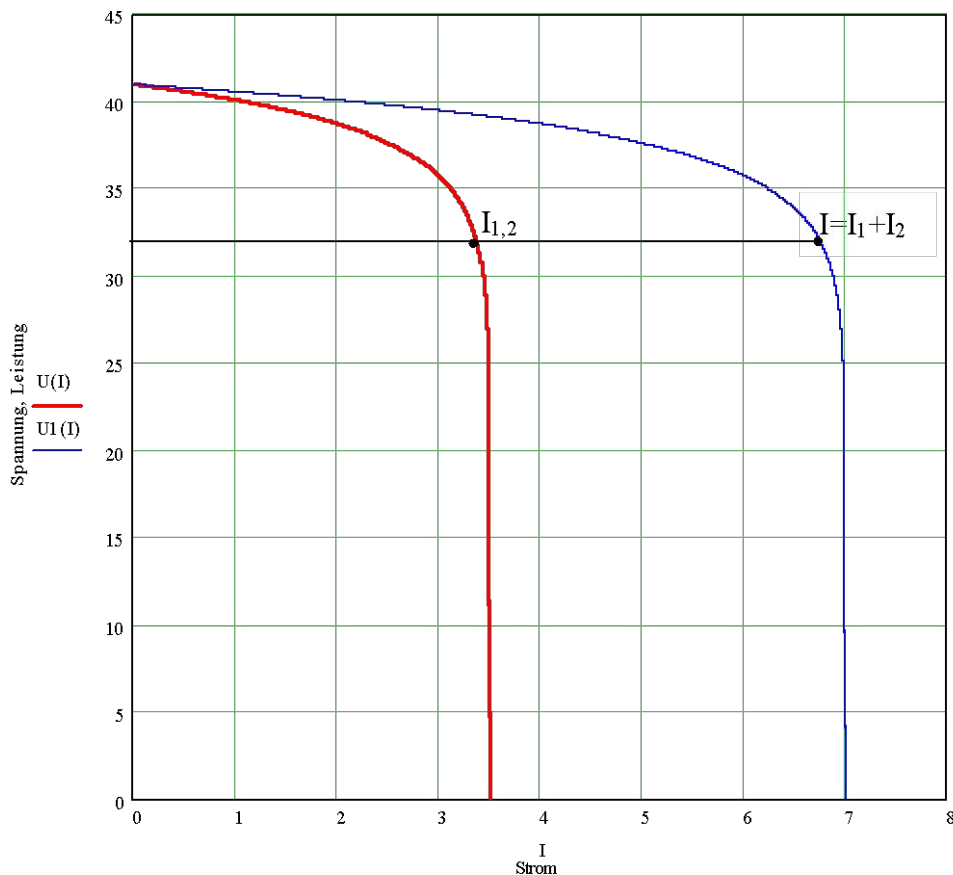
Обходные диоды не вызывают потерь, так как в нормальном режиме работы через них не течёт ток.

Свойства фотогенератора с последовательным включением солнечных батарей определяются элементом с худшей ВАХ, поэтому не рекомендуется включать совместно в одной системе модули различных производителей либо неодинаковых типов.

Параллельное включение



В случае параллельного включения солнечных модулей ВАХ генератора получается путём сложения величин токов при равных значениях напряжения

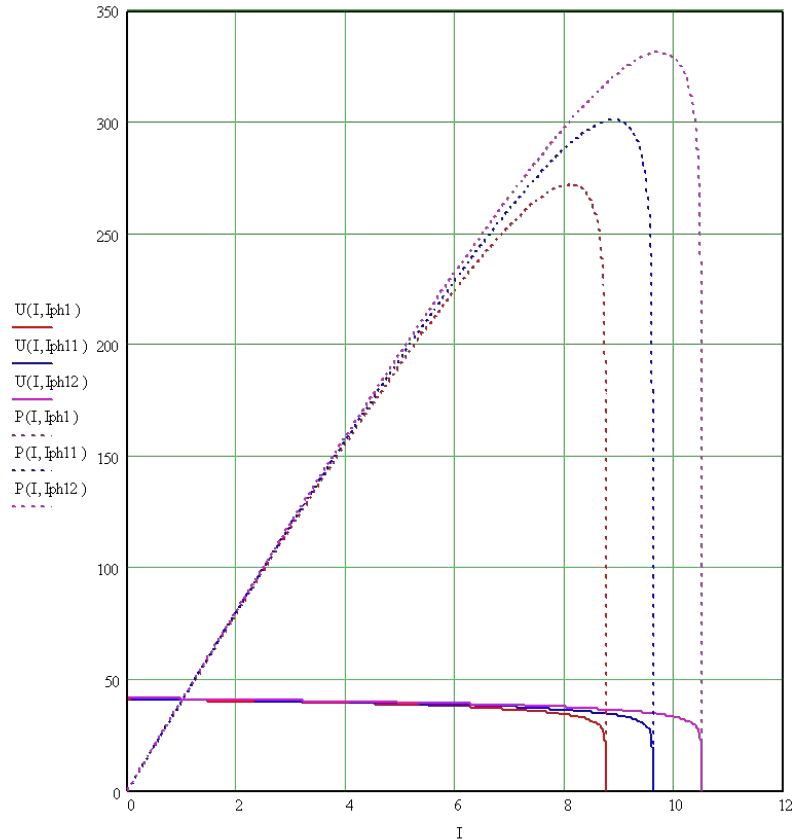


Так же встаёт вопрос о влиянии отключения или затемнения отдельного модуля, на всю систему.

Анализ показывает, что величина тока короткого замыкания и выходной мощности при частичном затемнении одного из модулей просто отнимается из общей мощности генератора, точка отбора максимальной мощности перемещается в зависимости от степени затемнения, но остаётся всегда одна. КПД всей системы при этом не снижается.

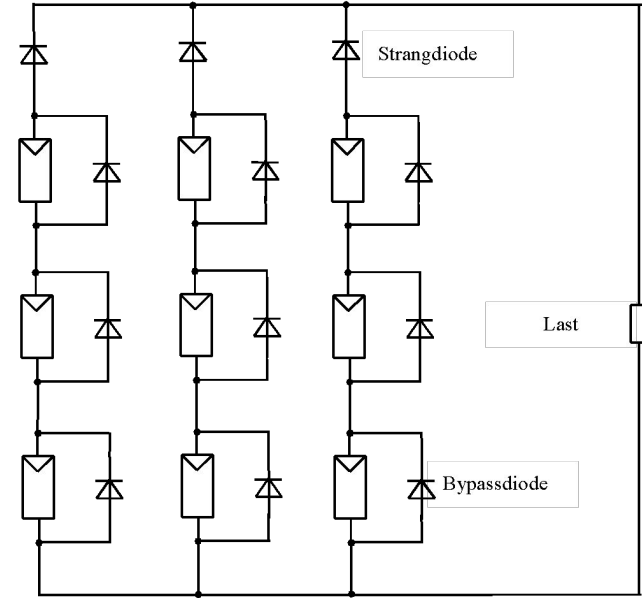
При увеличении количества параллельно включенных модулей спадающая часть вольтамперной характеристики фотогенератора становится всё положе, и её можно приближённо представить в виде прямой. В этом случае мы получаем характеристику аналогичную источнику напряжения.

С целью снижения потерь в затемнённых ветвях генератора и защиты от перенапряжения в цепь последовательно включаются диоды



Вольтамперная и нагрузочная характеристики фотогенератора из трёх параллельно включенных солнечных модулей, при затемнение одного модуля

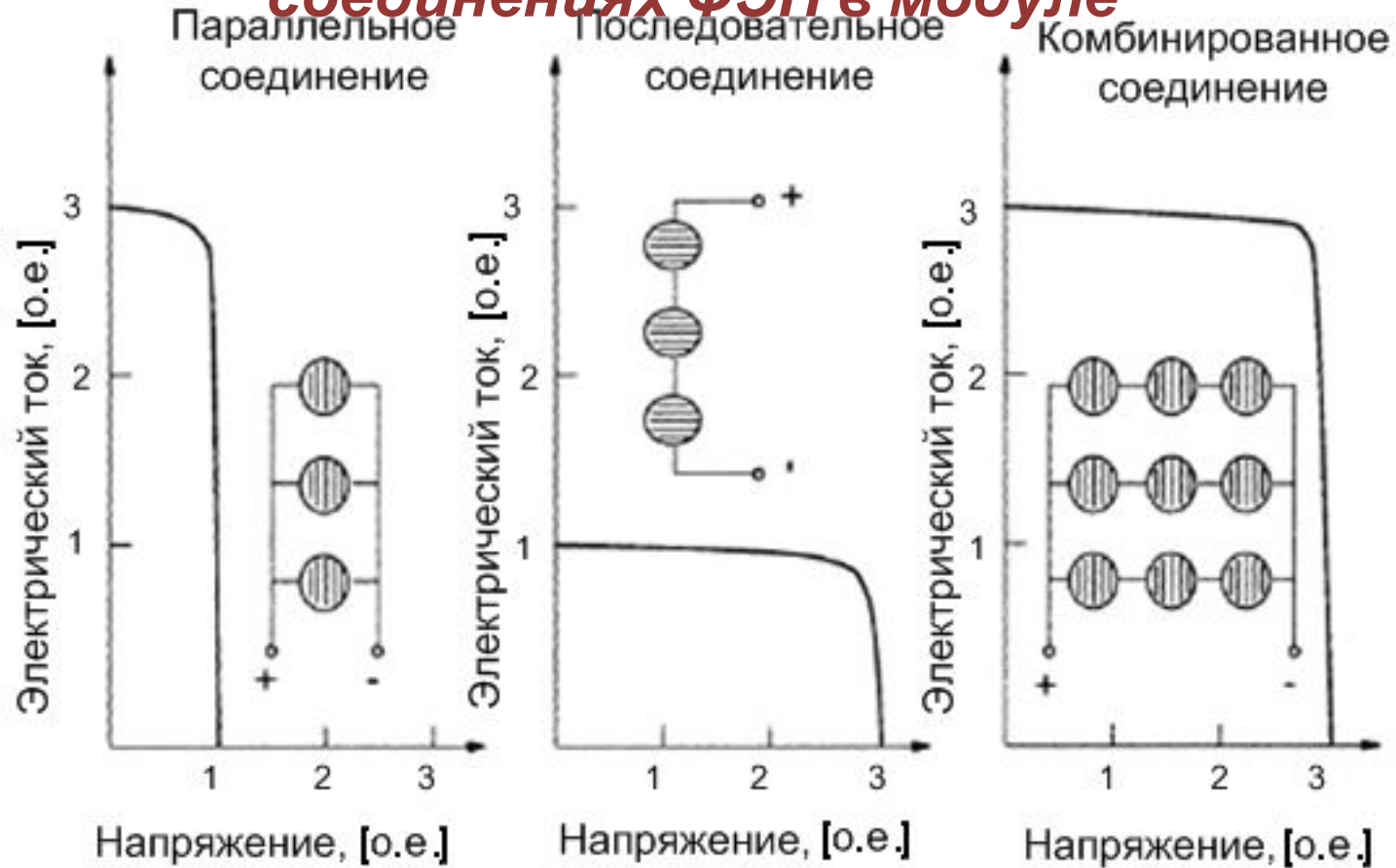
— 50 % затемнения
 — 25 % затемнения
 — нет затемнения



Фотогенератор с диодами в ветвях

В отличие от обходных диодов в этом случае на диодах всегда возникают потери напряжения в пределах 0.5 ... 1 вольт.

Изменения вольт-амперных характеристик при различных соединениях ФЭП в модуле



Фотогенераторы, применяемые на практике, имеют смешанные схемы включения солнечных модулей, поэтому в зависимости от количества включенных последовательно и параллельно модулей в соответствующей степени проявляются свойства данного типа включения. Солнечный генератор, состоящий из значительного количества параллельно включенных модулей, имеет предпочтительную рабочую характеристику, и что не мало важно, только одну точку отбора максимальной мощности. Такой генератор характеризуется невысоким значением выходного напряжения и большой величиной тока.

PVL-128

128 Вт гибкая солнечная панель

Длина 5.5м

Ширина 0.4м

Толщина 4мм

Вес 7.7Кг

2 500.00 грн

Максимальная мощность - 128 Вт

Номинальное напряжение - 24 В

Рабочее напряжение - 33,0В

Рабочий ток - 3,88А

Напряжение при разомкнутой цепи - 47,6В

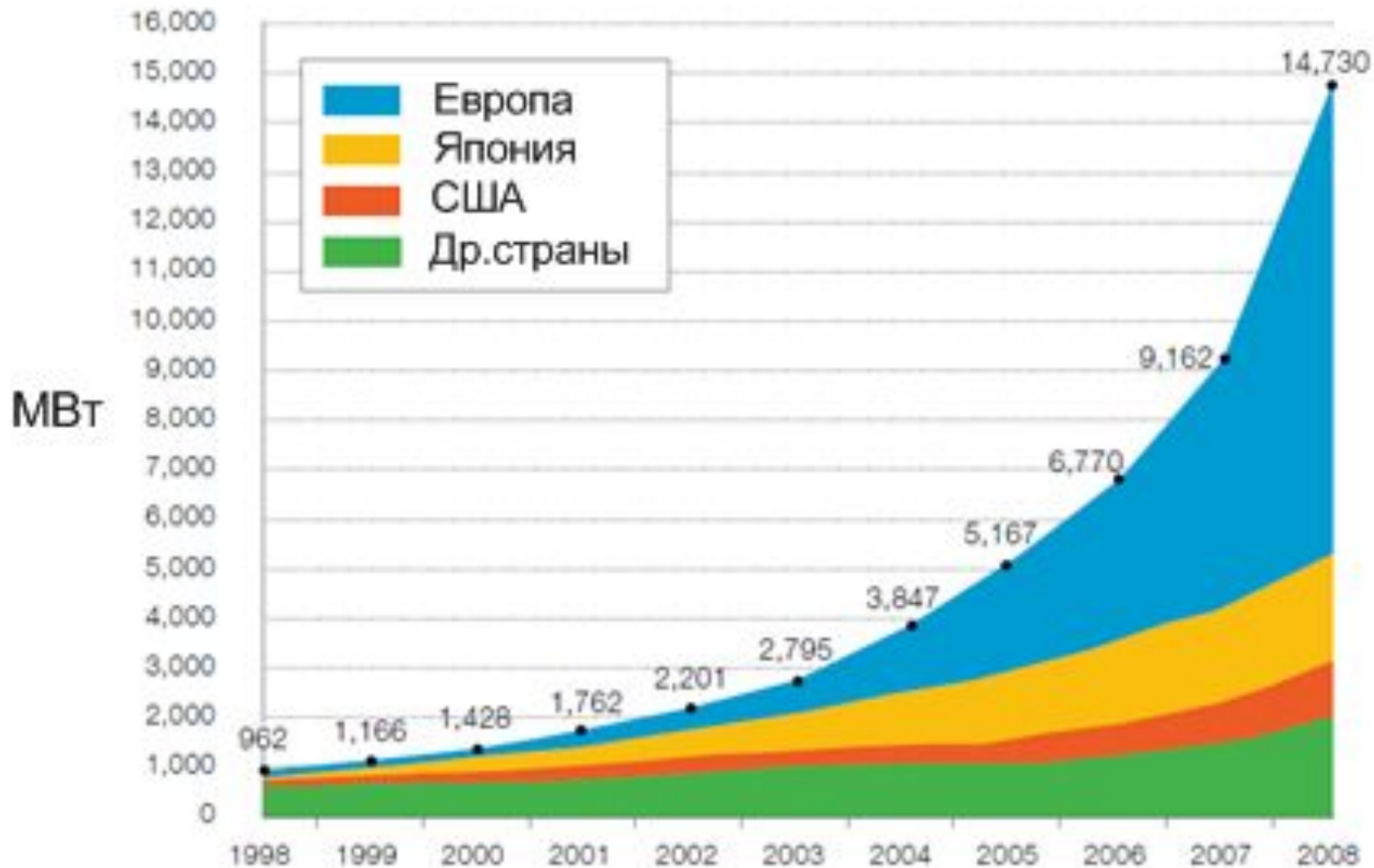
Ток короткого замыкания - 4,8А

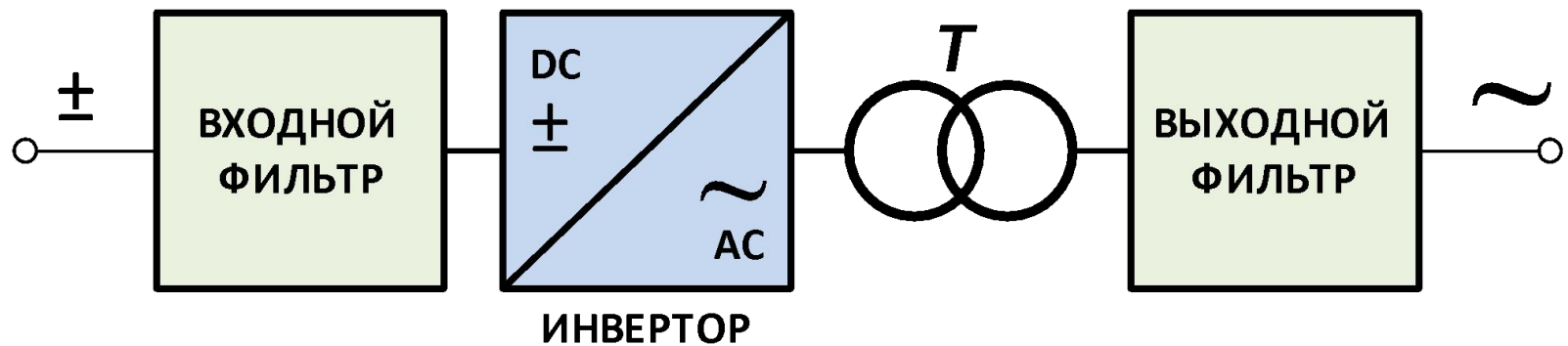
Номинал предохранителя - 8 А

Минимальная нагрузка блокирующего диода - 8 А



Суммарная мощность ФЭП в мире





Входные и ограничительная характеристики инвертора при $\omega L_d = \infty$

***Солнечная электростанция в Крыму
суммарной мощностью 100 МВт (Active
Solar)***



Activ Solar объявляет о завершении строительства и начале ввода в эксплуатацию пятой и заключительной очереди 100 мегаваттной (МВт) солнечной электростанции в Перово (Крым). Эта установка является третьим новаторским проектом Activ Solar, реализованным в 2011 году, и одним из крупнейших в своем роде в мире.

Электростанция состоит из 440 000 кристаллических солнечных фотоэлектрических модулей, соединенных 1 500 км кабеля, и установленных на более 200 га площади. Установка будет производить 132 500 МВт часов чистой электроэнергии в год, что достаточно для удовлетворения плановой пиковой потребностей в электроэнергии Симферополя, столицы Крыма. Станция позволяет сократить выбросы CO₂ на 105 тысяч тонн в год. На протяжении 7 месяцев строительства проект «Перово» создал 800 рабочих мест. В строительстве станции были использованы основные компоненты, включая солнечные модули и инверторы, от ведущих европейских и азиатских производителей.

В октябре 2011 года, Activ Solar запустила 80 МВт солнечной электростанции в «Охотниково» - крупнейшей солнечной фотоэлектрической установки в Центральной и Восточной Европе.

Станция «Охотниково» общей мощностью 80 мегаватт (МВт) расположена более чем на 160 гектарах и состоит из примерно 360 000 модулей. Проект разделен на четыре очереди по 20 МВт каждая. Первые три очереди были построены и подключены к национальной сети ранее в этом году. Станция «Охотниково» будет производить 100 000 мегаватт-часов электроэнергии в год, и сможет сократить выбросы углекислого газа до 80 000 тонн в год. Солнечная электростанция сможет удовлетворить потребности в электроэнергии около 20 000 домохозяйств.

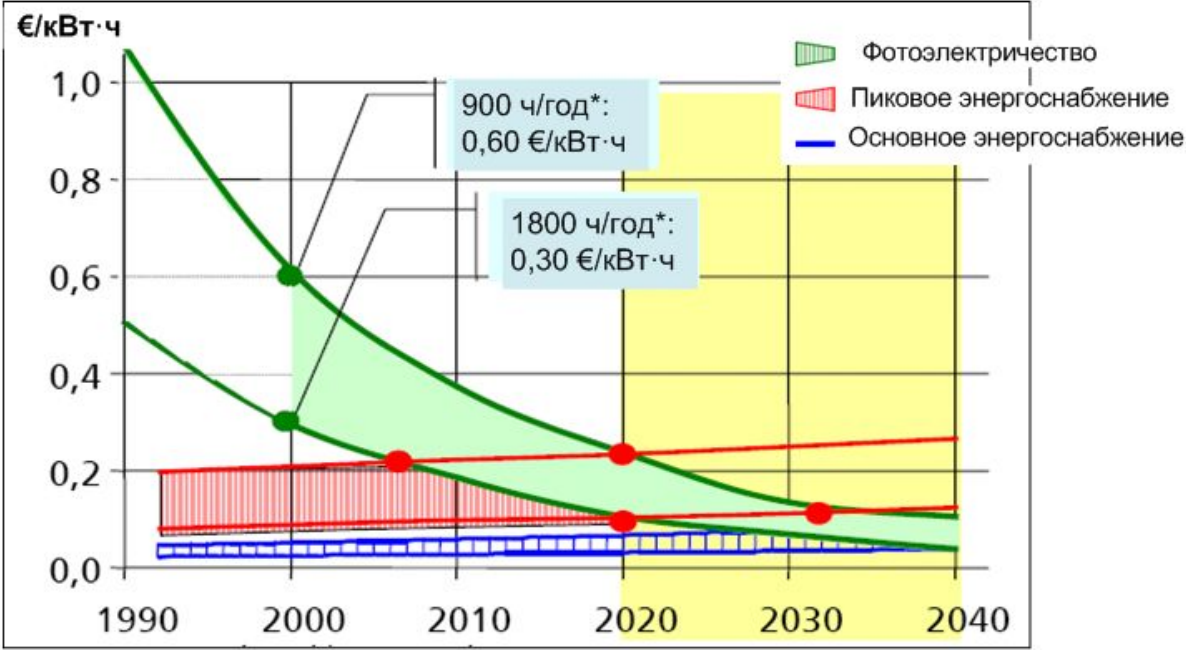
Крупнейшие фотоэлектрические установки в мире

Пиковая мощность	Местонахождение	Описание	МВт* час / год
247 МВт	Агуа-Калиенте, Аризона, США		
213 МВт	Чаранка, Гуджарат, Индия		
200 МВт	Голмуд, Китай		317 200
105.56 МВт	Перово, Крым, Украина	440 000 солнечных модулей	132 500 ^[2]
97 МВт	Сарния, Канада	более 1 000 000 солнечных модулей	120 000
84.7 МВт	Эберсвальде, Германия	317 880 солнечных модулей	82 000
84.2 МВт	Монтальто-ди-Кастро, Италия		
80.7 МВт	Финстервальде, Германия		
80 МВт	Охотниково, Крым, Украина	360 000 солнечных модулей	100 000 ^[3]
73 МВт	Лопбури, Таиланд	540 000 солнечных модулей	105 512
46.4 МВт	Амарележа, Португалия	более 262 000 солнечных модулей	
43 МВт	Долиновка, Украина	182 380 солнечных модулей	54 399
43 МВт	Староказачье, Украина	185 952 солнечных модулей	
34 МВт	Арнедо, Испания	172 000 солнечных модулей	49 936
33 МВт	Кюрбан, Франция	145 000 солнечных модулей	43 500
31.55 МВт	Митяево, Крым, Украина	134 760 солнечных модулей	40 000 ^[4]
11 МВт	Серпа, Португалия	52 000 солнечных модулей	
7,5 МВт	Родниково, Крым, Украина	32 600 солнечных модулей	9 683

На сегодняшний день энергия ФЭП стоит дороже по сравнению с ценами на другие виды энергии. Но благодаря соответствующей политической и финансовой поддержке, а также серийному производству ФЭП данный метод производства энергии может стать более конкурентноспособным.

В настоящее время фотоэлектрические системы являются наиболее распространенной формой энергоснабжения для спутников и космических аппаратов. Фотоэлектрические системы широко используются в регионах, удаленных от централизованной электросети, для освещения, подкачивания воды, телекоммуникации, и т.д. Также популярно внедрение фотоэлектрических установок в архитектуре, на крышах и стенах зданий, как основного или второстепенного источника электрической энергии. Широкое распространение получают автономные приборы, такие как солнечные счетчики платы за парковку, телефоны экстренной связи, временные дорожные знаки и т.д.

В ближайшем будущем ожидается снижение цен на производство ФЭП настолько, что будет экономически выгодно масштабное использование солнечной энергии. Ожидается, что будет достигнута так называемая паритетная цена в электросети



Конкурентоспособность между стоимостью производства фотоэлектрической энергии и стоимостью электричества