



Введение в технологию сетевой солнечной энергетики

Барбара О'Нил (Barbara O'Neill)

19 октября 2017 г.

Цели этого сеанса

- Понять, какие технологии солнечной энергетики коммерчески эксплуатируются на энергетических рынках во всем мире
- Идентифицировать основные тренды в технологии солнечной энергетики и ценообразовании

Всемирный рост возобновляемой энергии – суммарно



Source: Data for 2005-2015 from Renewable Energy policy Network for the 21st Century (REN21); data for annual installed capacity for 2016 from The International Renewable Energy Agency (IRENA)

Note: CSP includes concentrating photovoltaics.

Всемирный годовой ввод ФЭ электростанций

Europe Americas China Asia-Pacific Middle East & Africa Rest of world Total

80,000

Генерирующая мощность новых солнечных электростанций во всем мире в 2016 году возросла на 50%.

60,000

40,000

20,000

0

2000

2003

2006

2009

2012

2015

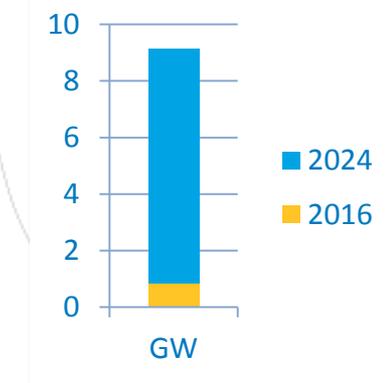
[The Guardian, 2017 https://www.theguardian.com/environment/2017/mar/07/solar-power-growth-worldwide-us-china-uk-europe](https://www.theguardian.com/environment/2017/mar/07/solar-power-growth-worldwide-us-china-uk-europe)

Перспективы развития солнечной энергетики

Турция: 5 ГВт солнечных электростанций к 2023 г.



Китай: 105 ГВт солнечных электростанций к 2020 г.



Бразилия: 8,3 ГВт солнечных электростанций к 2024 г.



Индия: 100 ГВт солнечных электростанций к 2022 г.

Источник данных: Bloomberg New Energy Finance, 2017

Всемирный рост солнечной энергетики

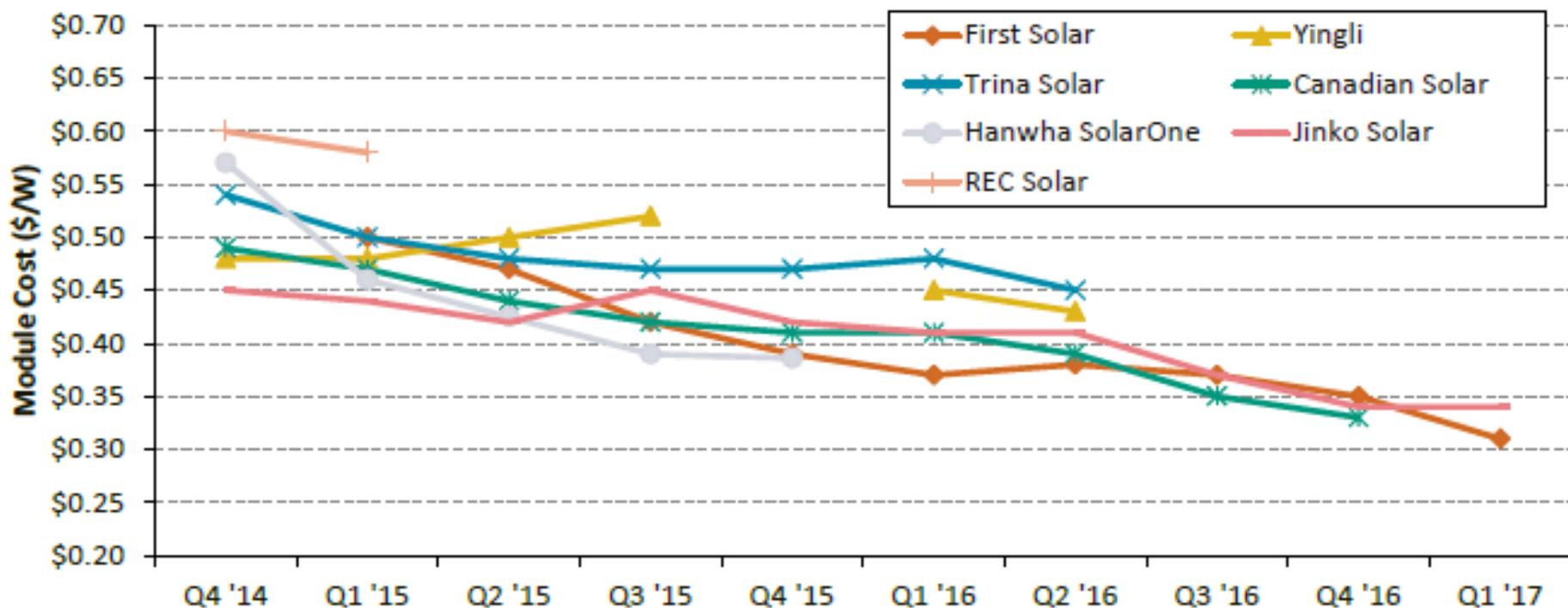
TOP 10 COUNTRIES IN 2016 FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY

TOP 10 COUNTRIES IN 2016 FOR CUMULATIVE INSTALLED CAPACITY

1		China	34,5 GW	1		China	78,1 GW
2		USA	14,7 GW	2		Japan	42,8 GW
3		Japan	8,6 GW	3		Germany	41,2 GW
4		India	4 GW	4		USA	40,3 GW
5		UK	2 GW	5		Italy	19,3 GW
6		Germany	1,5 GW	6		UK	11,6 GW
7		Korea	0,9 GW	7		India	9 GW
8		Australia	0,8 GW	8		France	7,1 GW
9		Philippines	0,8 GW	9		Australia	5,9 GW
10		Chile	0,7 GW	10		Spain	5,5 GW

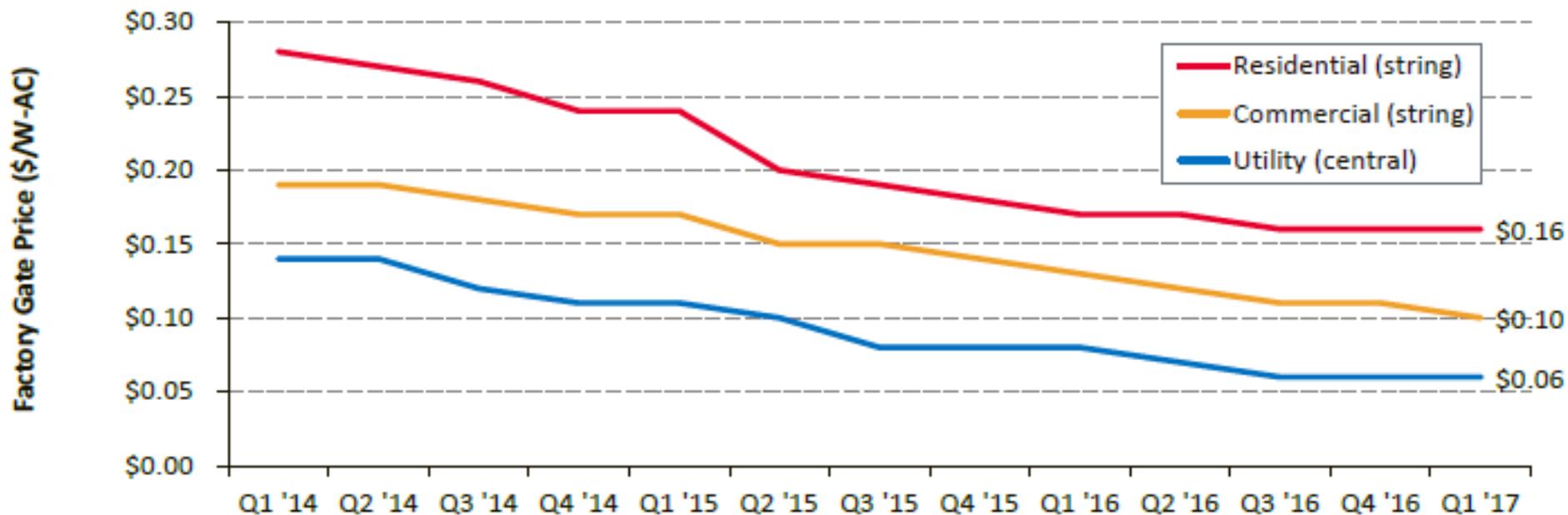
IEA-PVPS, 2016 http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS - A Snapshot of Global PV - 1992-2016_1.pdf

Себестоимость модулей снижается



Источники: Данные основаны на файлах SEC на 1-й квартал 2017 (и ранее) для соответствующих компаний.
Deutsche Bank (18.07.17)

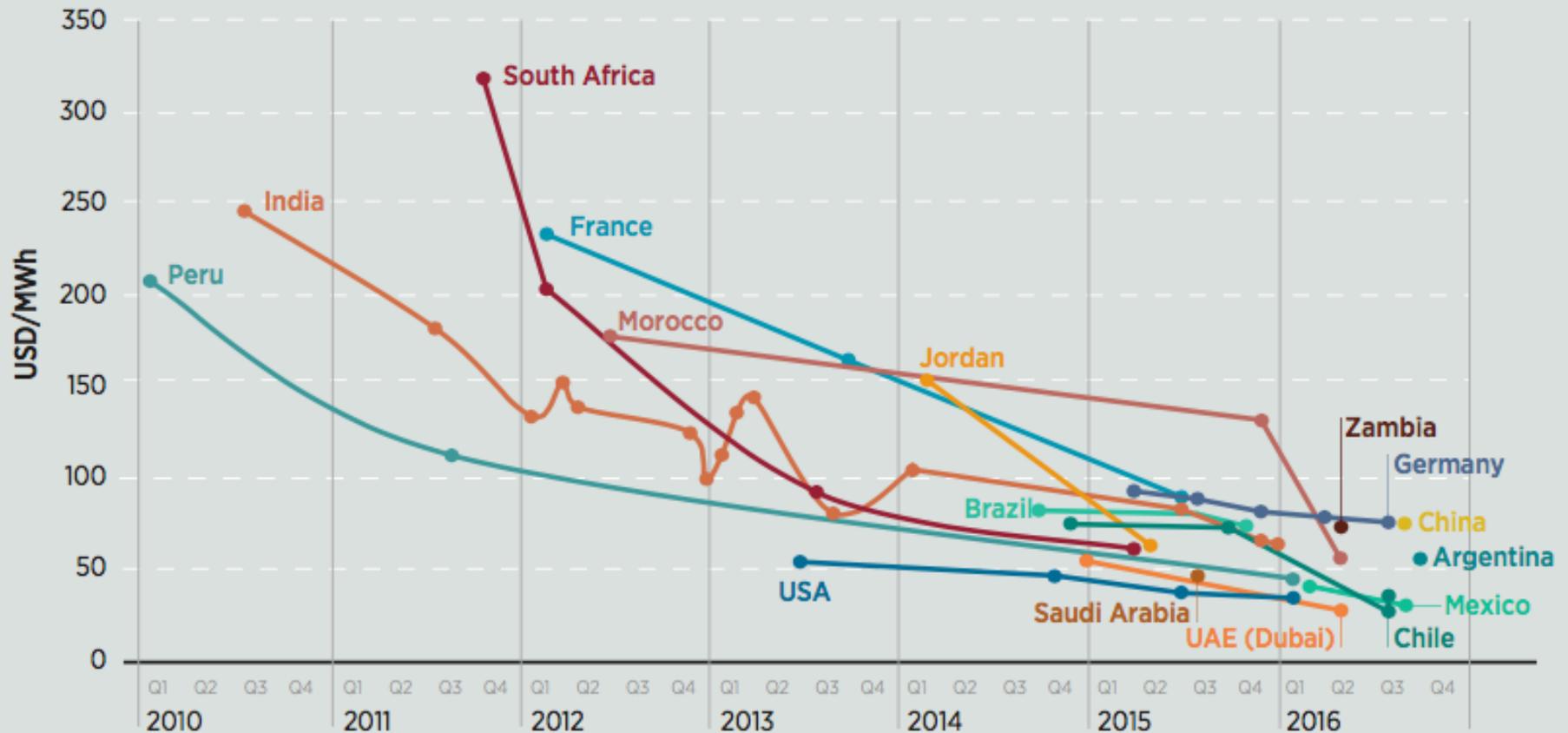
Цены инверторов также снижаются



Источник: Исследование GTM/SEIA “Анализ рынка солнечной энергетики: 2-й квартал 2017.”

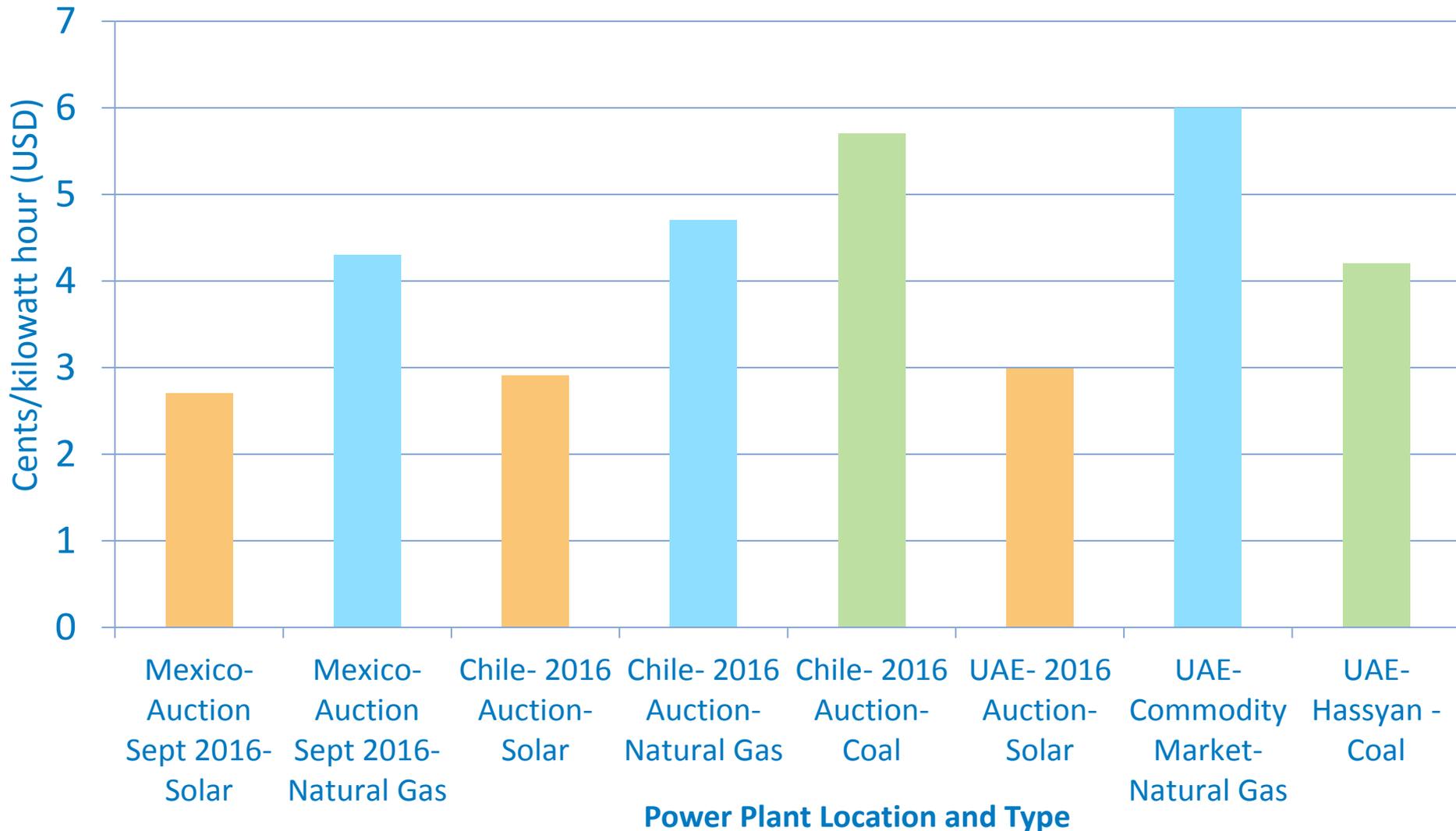
Эволюция цен на аукционах солнечной энергии

Figure 3 Evolution of average solar prices in auctions, January 2010-September 2016



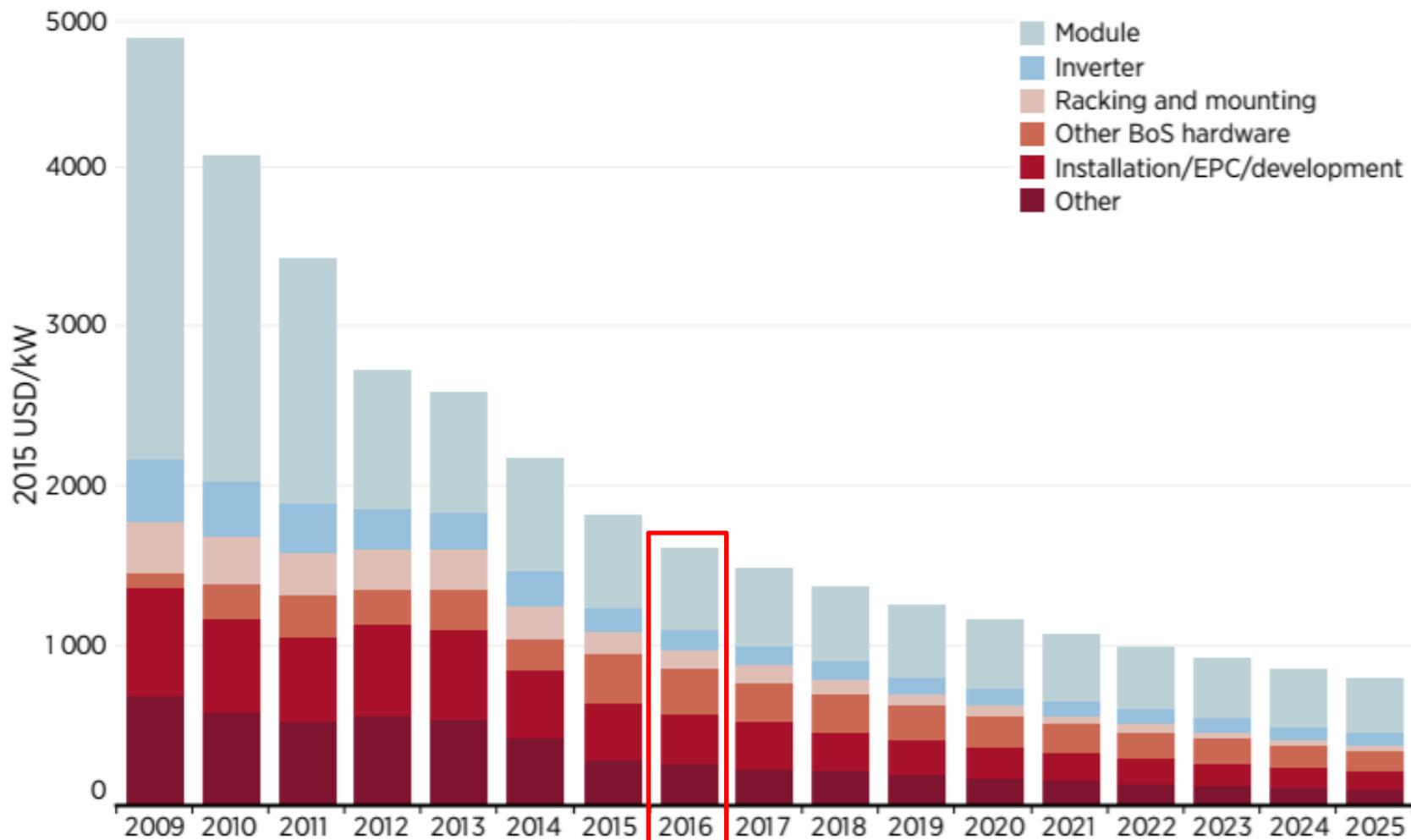
Цены на аукционах для солнечной энергетики могут быть ниже, чем новые угольные и новые газовые электростанции

Сравнение цен на солнечные и тепловые установки (2016 г.)



Прогнозируется, что цены будут снижаться и дальше

Всемирные оценочные средние полные расходы на ввод ФЭ электростанций сетевого масштаба, 2009-2025 гг.



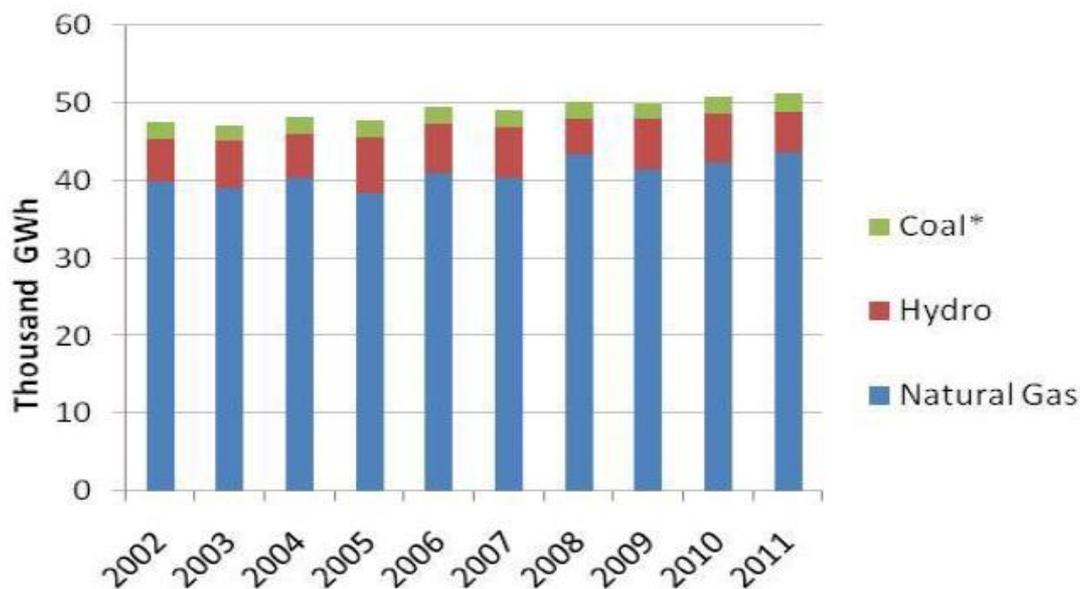
[IRENA, Power to Change 2016](#)

http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Power_to_Change_2016.pdf

Потенциальные выгоды развития солнечной энергетики

- Электростанции на природном газе обеспечивают гибкость интегрирования в энергосистему солнечных электростанций
- Повышается доля природного газа в экспорте
- Растет экономика и создаются новые рабочие места
- Модульное повышение мощности оптимизирует капитальные затраты
- Возрастает национальный вклад в Соглашение по климату в Париже (COP21)
- Сокращается импорт энергии
- Снижается уровень загрязнений
- Диверсифицируются ресурсы
- Стабилизируются цены

Состав генерируемой электроэнергии в Узбекистане

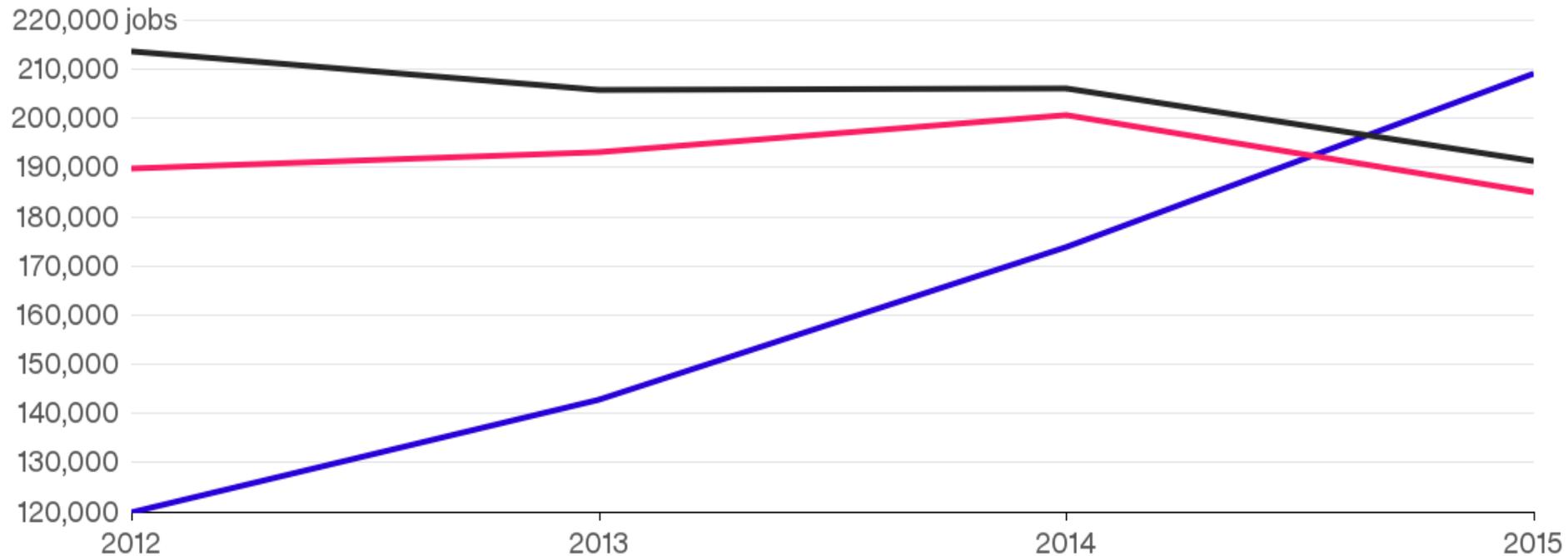


Источник: Энергоресурсы Узбекистана / проблемы энергетики.
Всемирный Банк, 2013

There Are More Jobs in Solar than Oil and Gas, Coal Extraction in the U.S.

Employment grew 6 percent in solar and slumped 18 percent in upstream oil and gas and support services

■ Solar ■ Oil and gas extraction ■ Coal mining

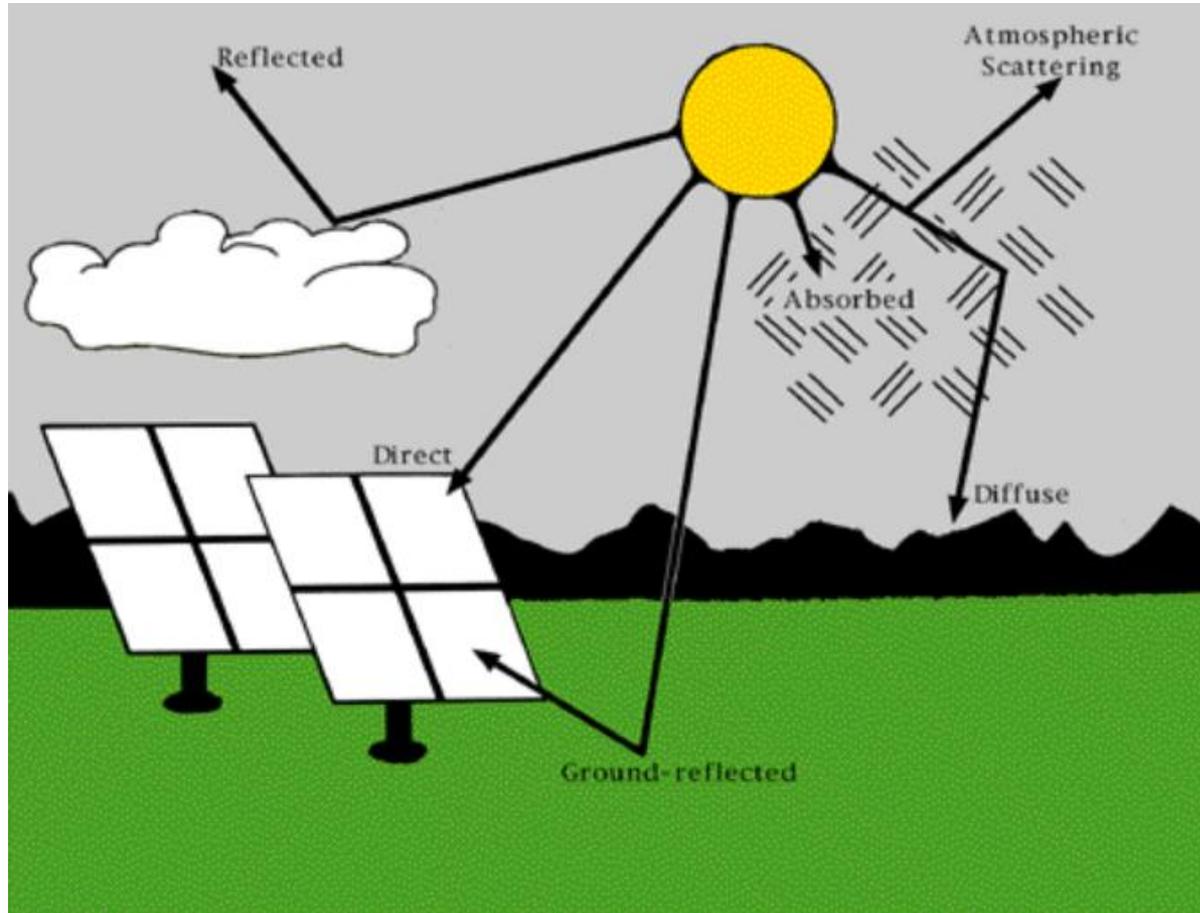


Sources: International Renewable Energy Agency, U.S. Bureau of Statistics

Bloomberg 

Солнечные ресурсы

Солнечная радиация



Сумма прямого луча, диффузного и отраженного от земли излучения представляет собой полное солнечное излучение

Source: NREL

Показатели солнечного ресурса (облучения)

Direct Normal Irradiance (DNI)



Diffuse Horizontal Irradiance (DHI)

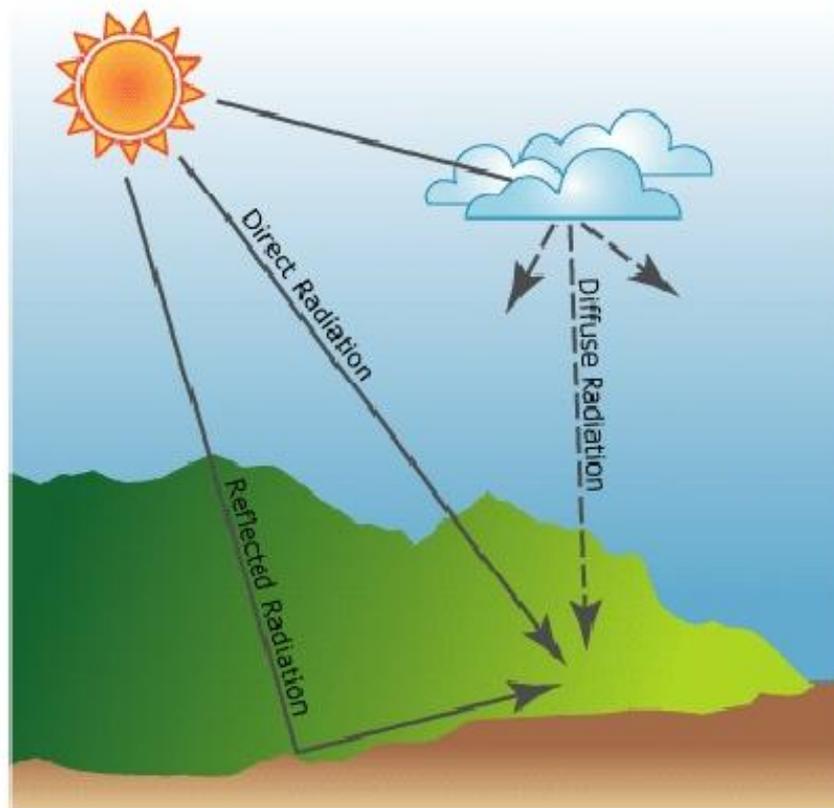


Source: nrel.gov

Global Horizontal Irradiance (GHI)



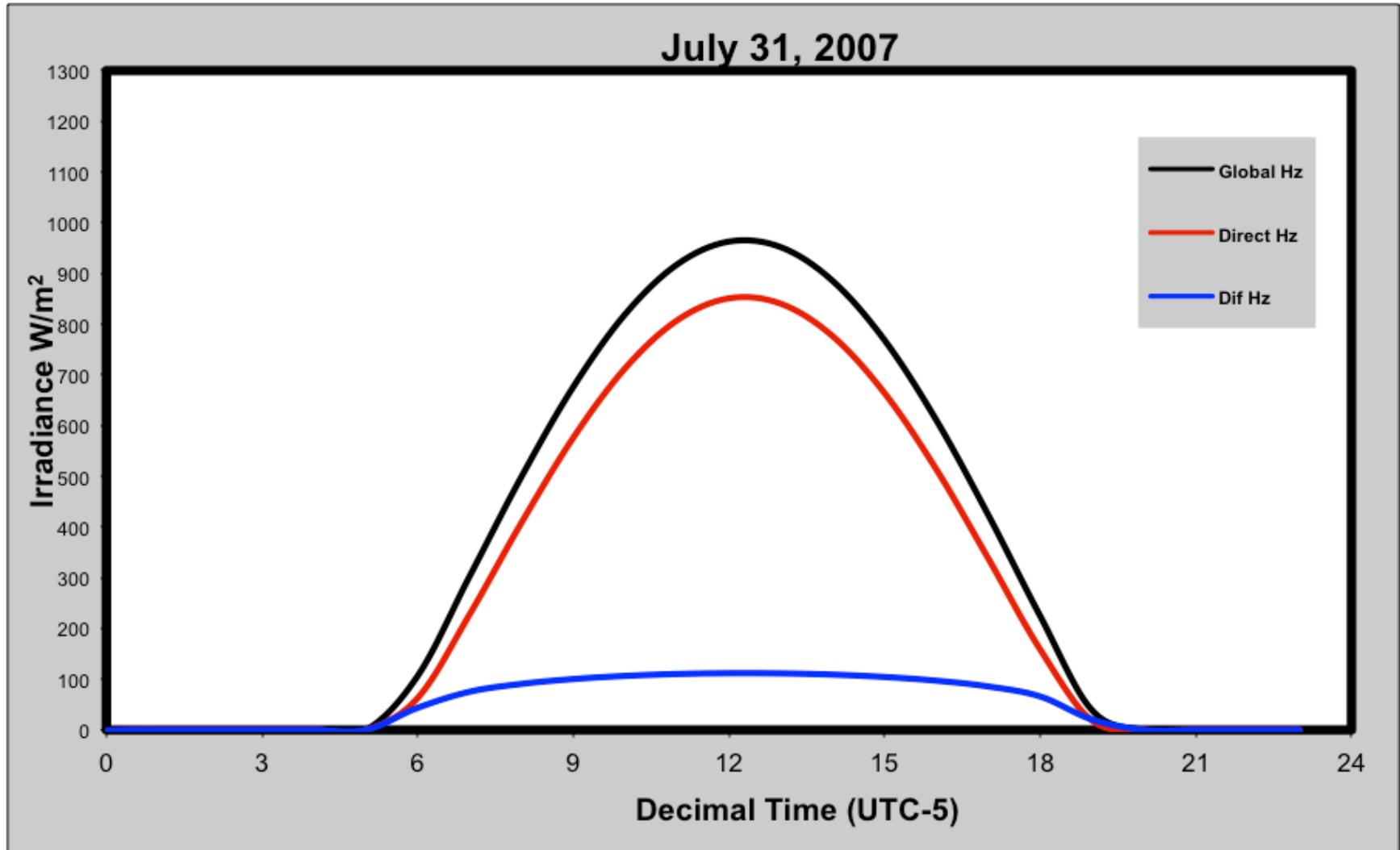
Source: kippzonen.com



Source: esri.com

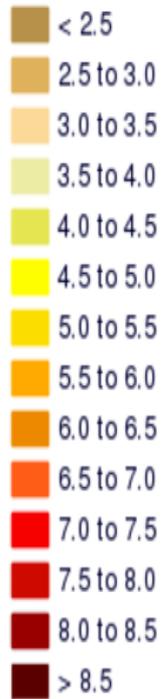
Показатели солнечного ресурса (облучения)

$$\text{GHI} = \text{DNI} + \text{DHI} * \cos(\text{zenith})$$



Солнечный ресурс: DNI и GHI

kWh/sq.m./day



Direct Normal Irradiance

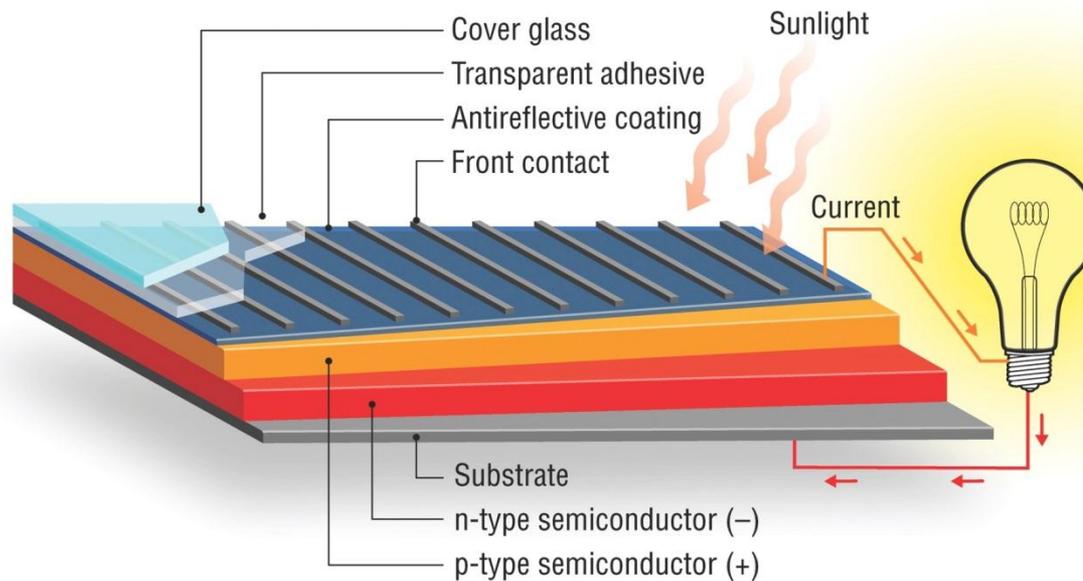


Global Horizontal Irradiance



Solar Technology

Технология фотоэлектрических солнечных элементов – принцип действия

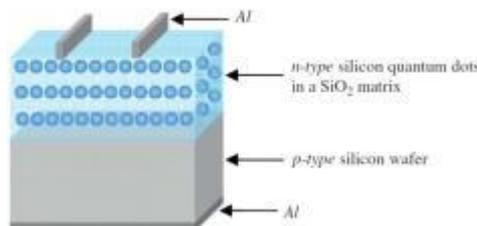
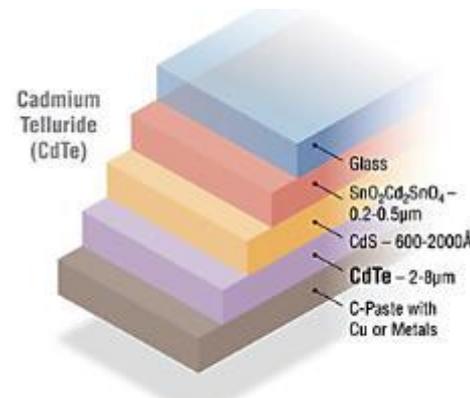
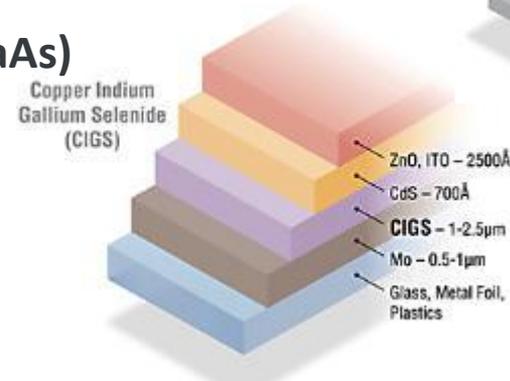
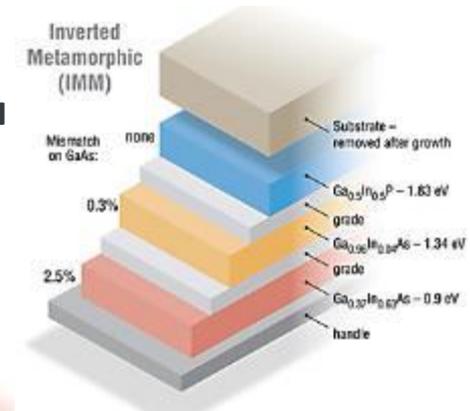
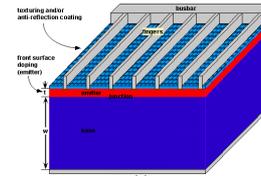


Особенности

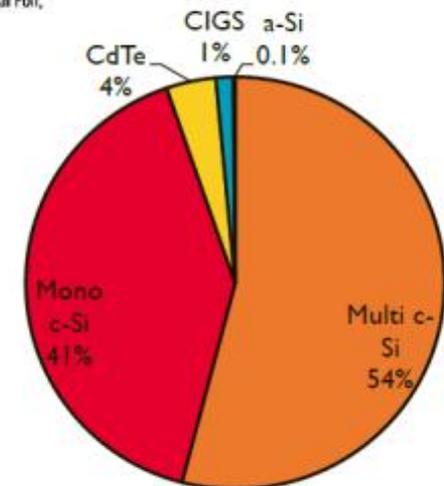
- Непосредственное преобразование солнечного излучения в электричество
- Создание постоянного тока, преобразуемого инвертором в переменный
- Возможность выработки электроэнергии от прямого и диффузного солнечного излучения (солнечные и облачные условия)
- Высокие капитальные затраты и требования к занимаемой площади
- Низкие расходы на эксплуатацию (мало подвижных частей, нет расходов на топливо)

Различные типы фотоэлектрической технологии

- Монокристаллический кремний (c-Si)
- Поликристаллический кремний (mc-Si)
- Выращенные в виде пленки или ленты кремниевые кристаллы
- Тонкопленочный аморфный кремний (a-Si)
- Нано (nc-Si) или микро (μ s) кристаллический поликремний
- Кремниевые гетероструктуры (HIT)
- Монокристаллический арсенид галлия (GaAs)
- Многопереходные (GaAs; GaInP; Ge)
- Диселенид меди-индия-галлия (CIGS)
- Теллурид кадмия (CdTe)
- Сенсibilизированные красителем солнечные элементы (DSSC)
- Перовскиты
- Органические элементы
- Элементы с квантовыми точками

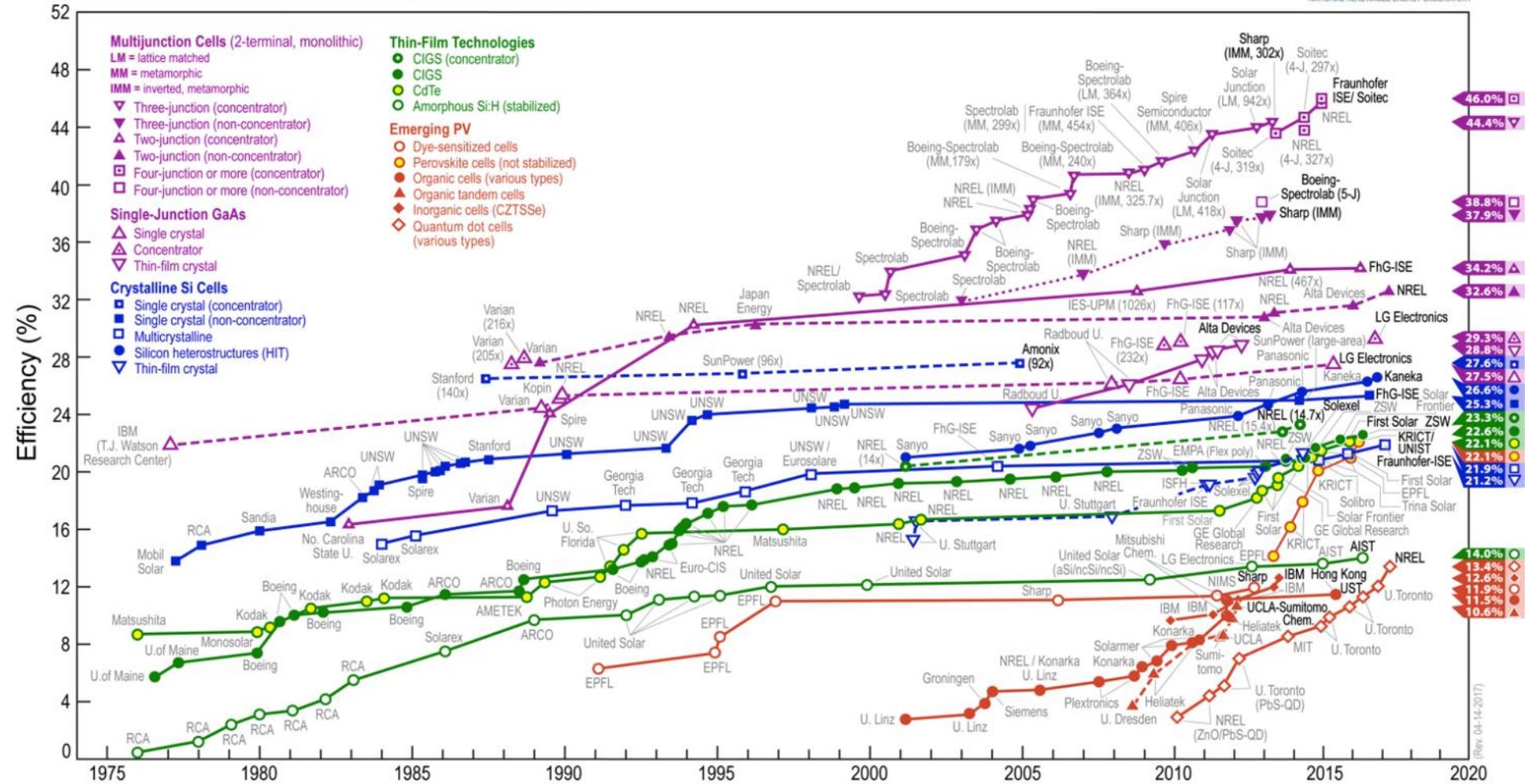


PV Technology Share of Shipments, 2016



КПД фотоэлектрических солнечных элементов

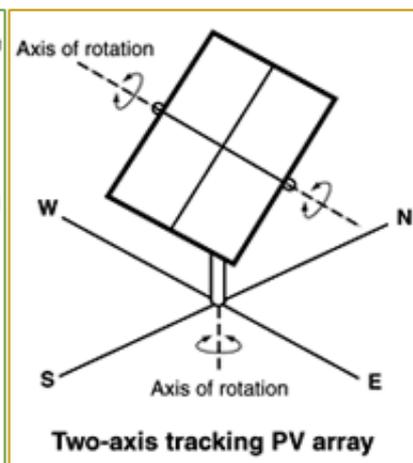
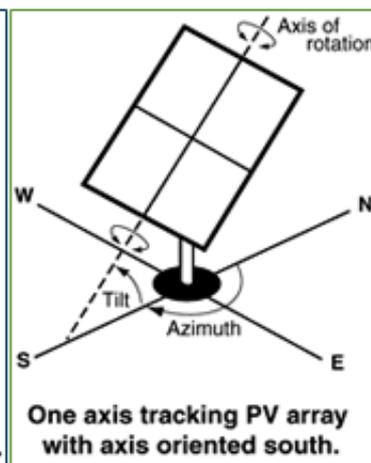
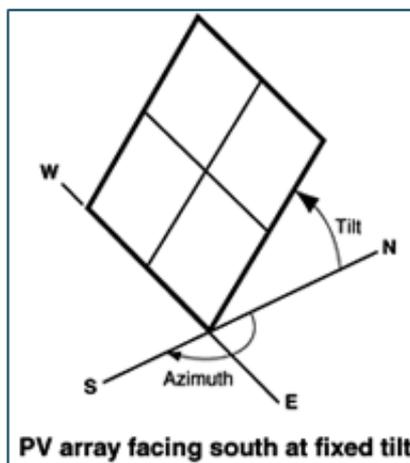
Best Research-Cell Efficiencies



Types of Solar Power Plants

Фотоэлектрические электростанции сетевого класса

- Фиксированный угол наклона
- Слежение по 1 оси
- Слежение по 2 осям
- Преимущества:
 - Стоимость (фиксированная)
 - Производительность (слежение)
 - Синхронизация (слежение)



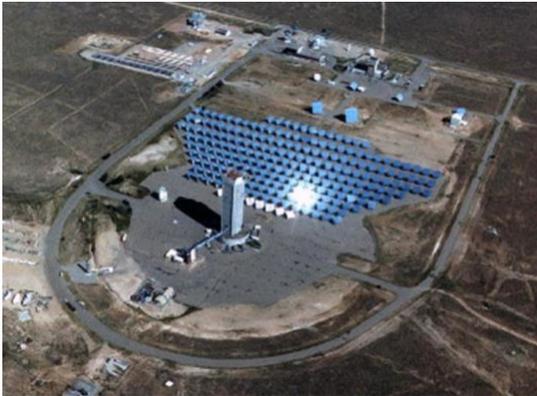
Распределенные фотоэлектрические электростанции



Концентрированная солнечная энергия (CSP)

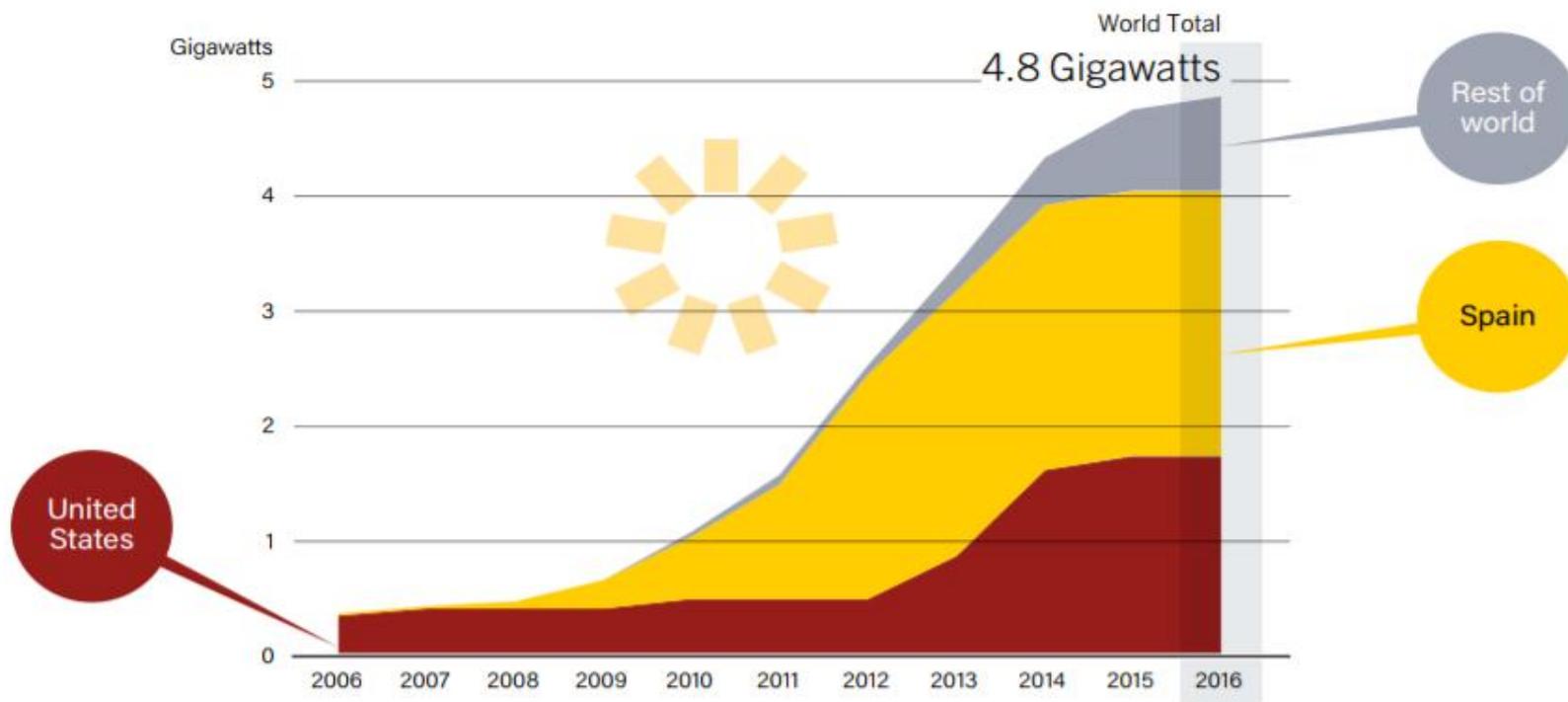
- **Гелиоэнергетическая башня**
 - Плоские зеркала (гелиостаты) фокусируют солнечную энергию в центральной приемной системе
 - В качестве теплоносителя и для хранения энергии обычно используются расплавы солей
- **Параболические корыта**
 - Тепло собирается в высокотемпературной жидкости, которая проходит через теплообменник
 - Создаваемый пар приводит в действие обычную паровую турбину
- **Тарельчатый двигатель Стирлинга**
 - Параболические тарелки концентрируют солнечную энергию на приемнике
 - Not cost-competitive with PV

Для CSP нужен высокий солнечный ресурс DNI



Рост электростанций CSP снизился в последние годы

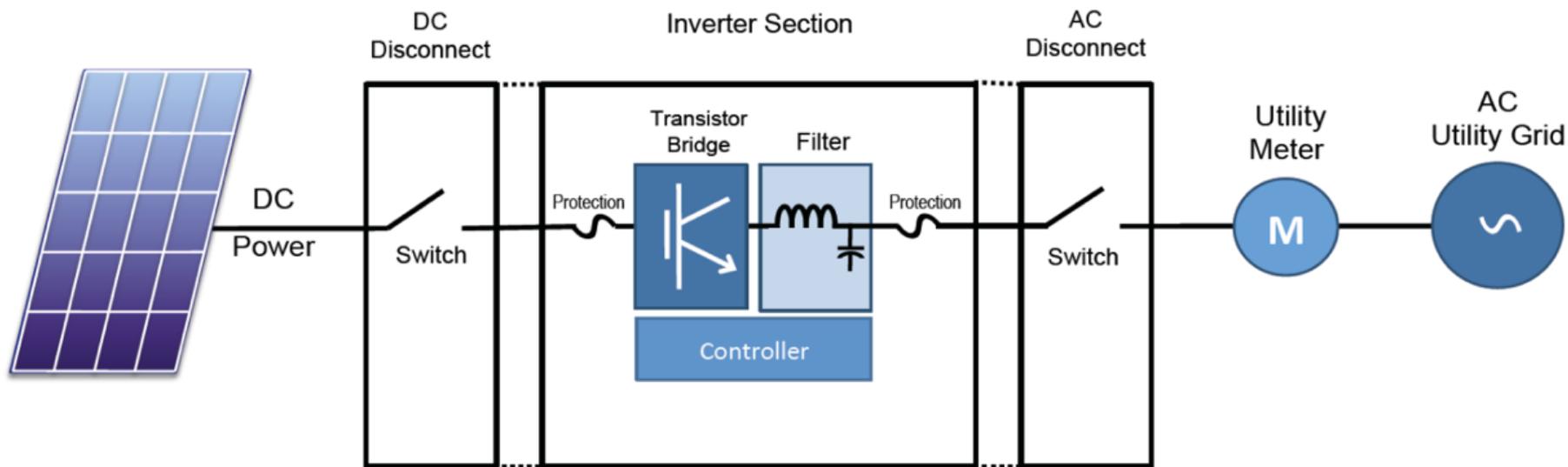
- Общая мощность электростанций CSP в 2016: **4,8 ГВт**
 - Сравните с **303 ГВт фотоэлектрических электростанций**
- Электростанции CSP обычно содержат хранилище тепловой энергия, что позволяет поставлять диспетчеризуемую электроэнергию



Источник: REN21 Отчет о всемирном состоянии энергетики, 2017

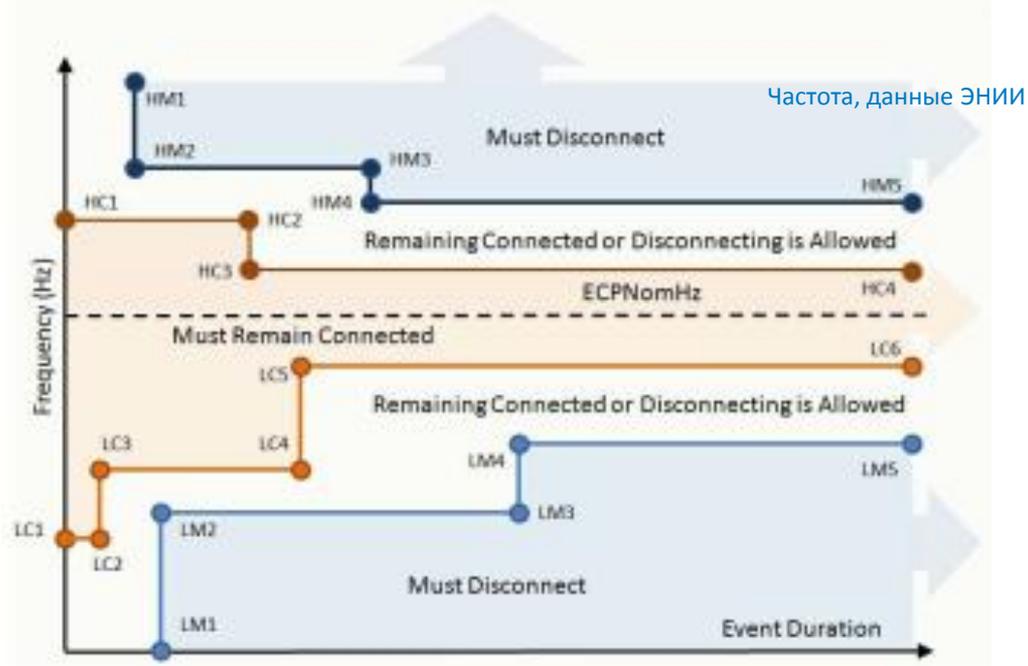
Обзор ФЭ инвертора

- Преобразует постоянный ток от ФЭ модулей в переменный ток для сети
- Реализует отслеживание точки максимальной мощности
- Обеспечивает мониторинг системы
- Реализует функцию взаимодействия с сетью

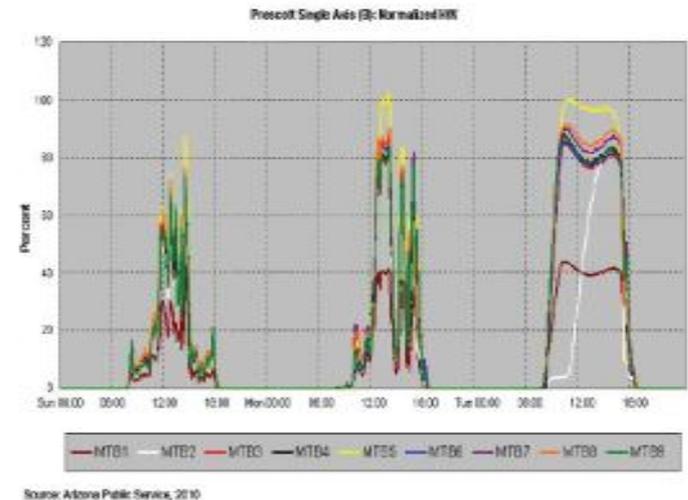


Достижения в функциях инвертора

- Продолжение работы при низком напряжении
- Продолжение работы при снижении частоты
- Функции управления реальной мощностью
- Подача реактивной мощности и удерживание напряжения
- Интерфейсы связи
- **Инверторы стали очень разумными**



- Эталонные эксплуатационные параметры
- Исправления и контроль качества данных
- Менеджмент по знаниям – диагностика, поиск и устранение неисправностей
- Отслеживание требований профилактического техобслуживания
- Расчет профилактического или внепланового техобслуживания



Благодарю за внимание