

# ЭНЕРГЕТИКА

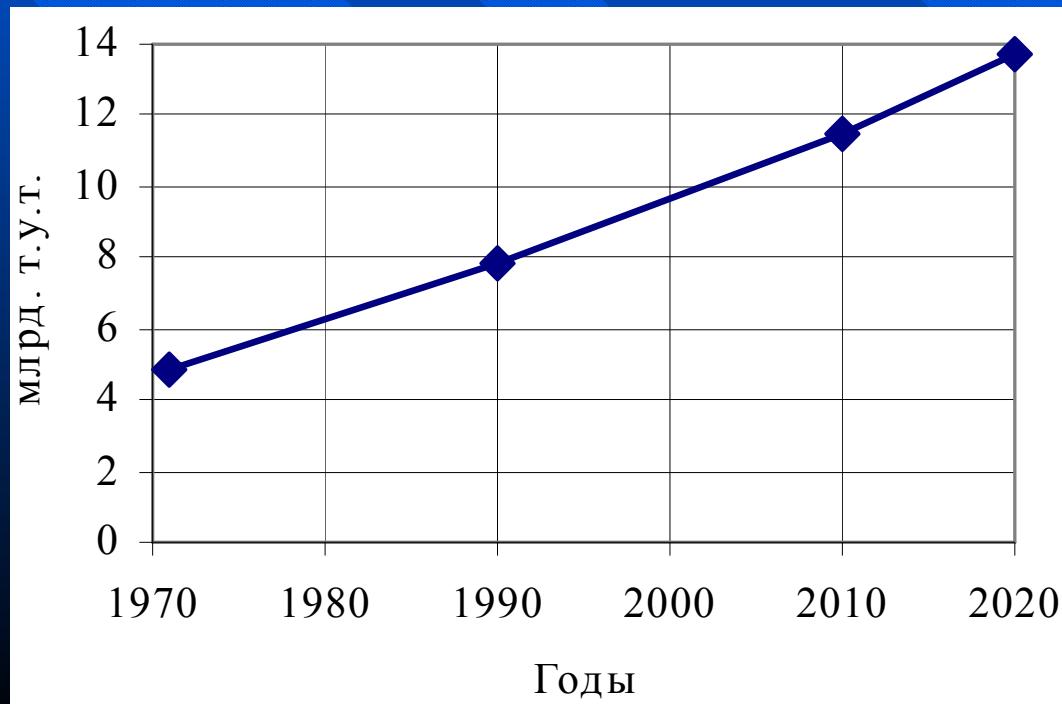
Отрасль экономики, охватывающая  
выработку, передачу и сбыт  
потребителям тепловой и  
электрической энергии

# ЭНЕРГЕТИКА

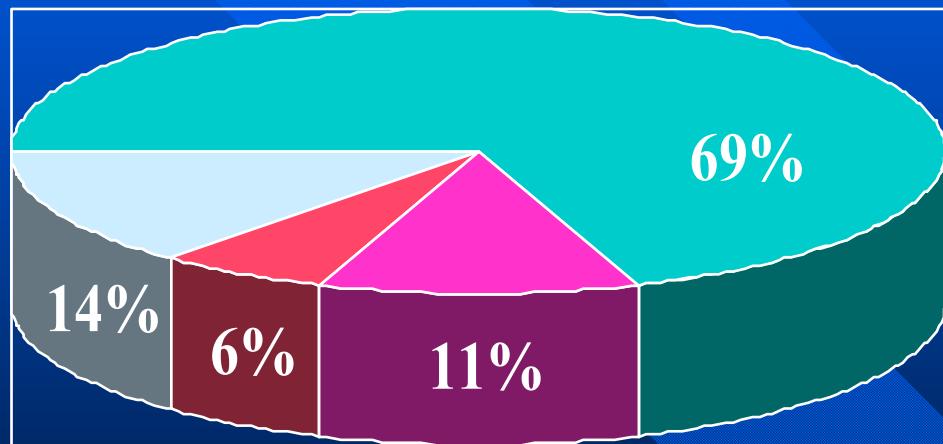
- Преобразование энергии
- Источники энергии
- Электроэнергетика:
  - Атомная энергетика
  - Гидроэнергетика
  - Тепловая энергетика
  - Ветроэнергетика
  - Гелиоэнергетика
  - Водородная энергетика
- Энергосистема. Распределение электроэнергии

# Цивилизация и энергия

- Развитие материального производства неизбежно сопровождается опережающим ростом энергоооруженности труда и потребления энергии;
- Общемировое годовое потребление энергии удваивается каждые 30 лет



# Структура энергопотребления в Украине



- Промышленность и строительство
- Сельское хозяйство
- Транспорт
- Другие отрасли

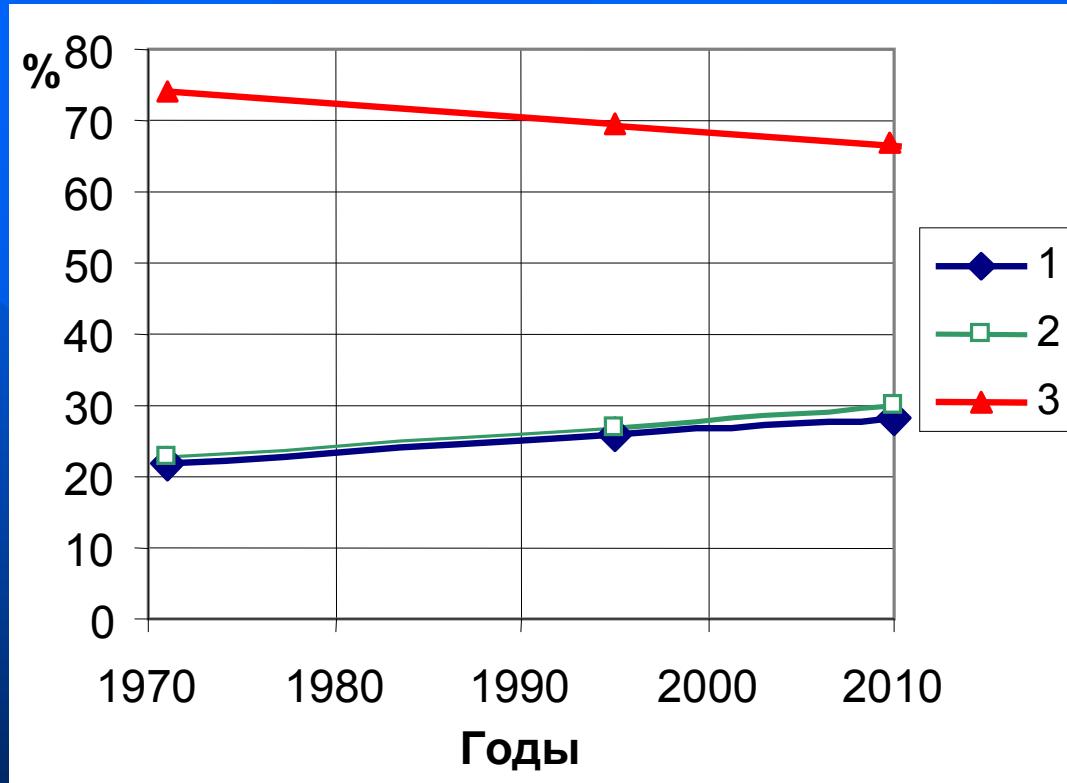
# Преобразование энергии

- Во что преобразуется энергия первичных энергоносителей:
  - в тепло:
    - » обогрев помещений;
    - » сварка;
    - » плавка металлов;
    - » термообработка;
    - » сушка древесины и т.п
  - в световую энергию (освещение)
  - в механическую энергию (движение машин и механизмов)

# Преобразование энергии

- Большая часть энергоносителей сжигается для получения тепловой, электрической или механической энергии
- Последствия:
  - выбросы в атмосферу углекислого газа выросли с 21,4 млрд. т в 1990 г. до 31,2 в 2010 г.

# Преобразование энергии



- 1 – доля горючего в общем энергопотреблении
- 2 – доля электроэнергии в общем энергопотреблении
- 3 – доля первичной энергии, доходящей до конечного потребителя

# Первичные источники энергии

- Ископаемые (традиционные, невозобновляемые)
- Возобновляемые (нетрадиционные)

# Ископаемые источники Энергии

- Уголь;
- Нефть;
- Природный газ;
- Уран;
- Горючие сланцы;
- Торф

Преобладают в структуре энергопотребления (до 80% в промышленно развитых странах)

# **Последствия применения ископаемых источников энергии**

- Концентрация населения в крупных промышленных центрах;
- Выведение из оборота сельскохозяйственных земель в местах добычи ископаемых энергоресурсов (карьеры, отвалы, терриконы);
- Загрязнение среды обитания побочными продуктами преобразования энергии (зола, пыль, газы, радиоактивные отходы);
- Глобальное потепление климата вследствие парникового эффекта, вызванного увеличением содержания углекислого газа в атмосфере;
- Удорожание добычи и транспортировки первичных энергоресурсов по мере истощения наиболее доступных месторождений ископаемого топлива;
- Близость полного исчерпания запасов (ожидается, что разведанные запасы углеводородного топлива будут исчерпаны к 2050-2100 г.)

# Возобновляемые источники Энергии

- Солнце;
- Ветер;
- Тепло недр Земли;
- Волны и приливы;
- Биотопливо;
- Энергия рек

# Возобновляемые источники Энергии

*Особенности:*

- практически неисчерпаемые запасы;
- рассредоточенность в пространстве;
- колебания (суточные, сезонные) интенсивности потока энергии;
- минимальное воздействие на среду обитания;
- неполное использование энергии источника не наносит никакого ущерба для окружающей среды

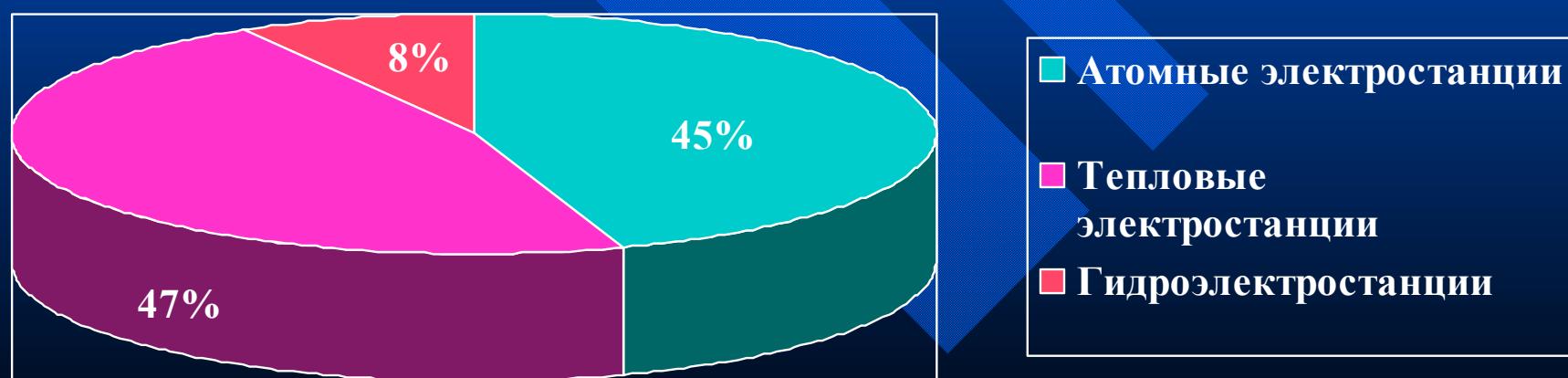
# ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

- Преимущества электрической энергии:
  - простота передачи практически на любые расстояния;
  - возможность преобразования в любой вид энергии (тепловую, световую, химическую, механическую) и обратно;
  - минимальное воздействие на окружающую среду при преобразовании в другие виды;
  - практически одновременность генерации и потребления (ток распространяется со скоростью света)
- Недостаток: невозможность накопления
- Около 30% энергии всех видов преобразуется в электрическую

# Электроэнергетика Украины

## ■ Выработка электроэнергии:

- 2010 – 240 млн кВтч;
- 2011 – 360 млн кВтч;
- 2012 – 1,17 млрд кВтч



# ТЕХНОЛОГИЧЕКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

- Генерация электроэнергии:
  - процесс преобразования энергии первичных энергоносителей в электрическую на электростанциях
- Передача и распределение электроэнергии:
  - передача электроэнергии от электростанций до потребителей по электрическим сетям
- Потребление электроэнергии

# АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

- Использует энергию, выделяемую при цепной реакции деления ядер урана-235 или плутония, для преобразования в тепло и электроэнергию
- Мировые лидеры: Франция, Украина, Финляндия, Швеция, Болгария, Швейцария, США



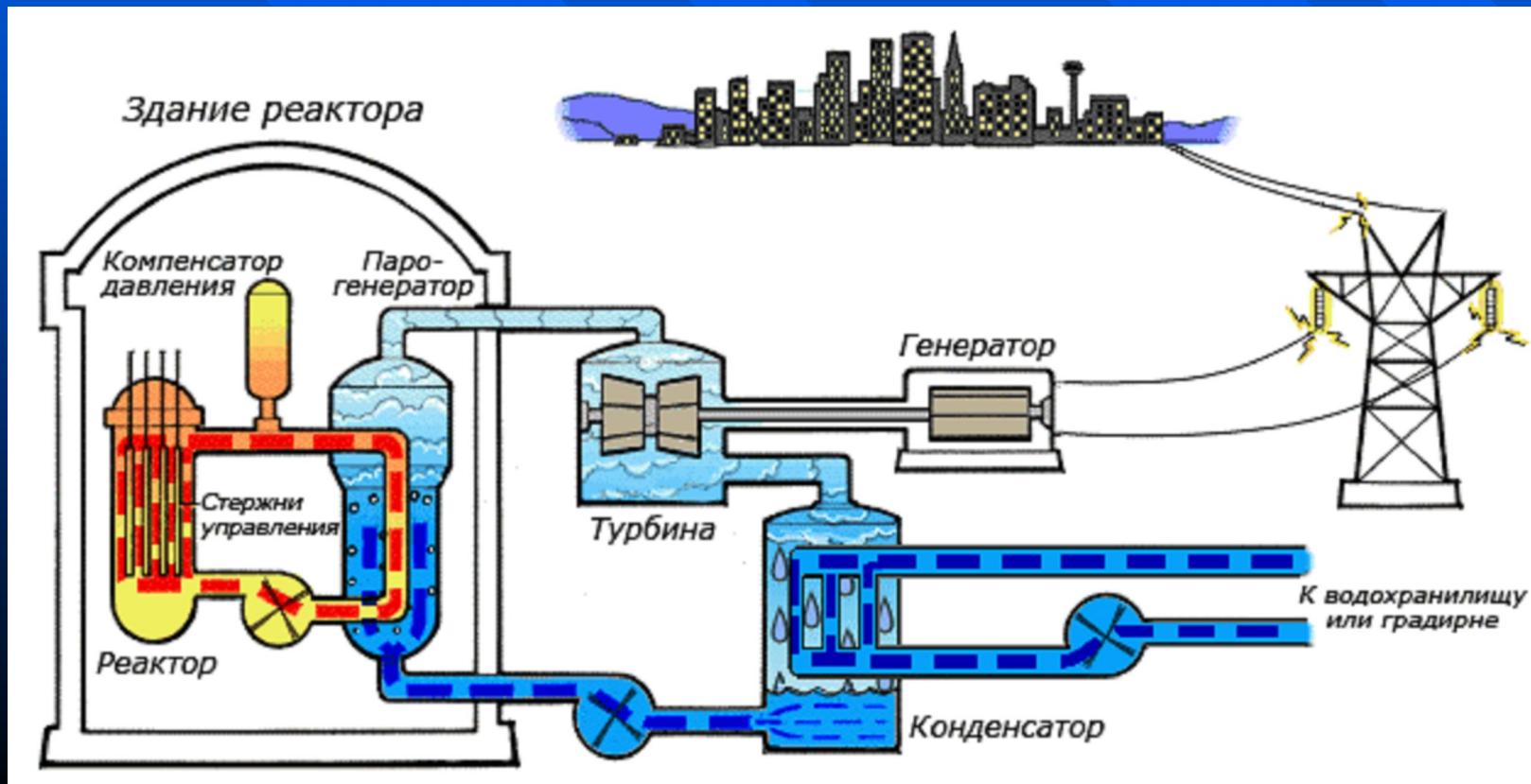
# АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА УКРАИНЫ

45% общего производства электроэнергии

- Запорожская АЭС 6000 МВт  
(крупнейшая в Европе);
- Южноукраинская АЭС 3000 МВт;
- Ривненская АЭС 2880 МВт;
- Хмельницкая АЭС 2000 МВт

# АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

- АЭС с двухконтурным водо-водяным реактором



# АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

## ■ Достоинства:

- Небольшой объем используемого топлива;
- Высокая единичная мощность (1000...1600 МВт на энергоблок);
- Относительно низкая себестоимость энергии (особенно тепловой);
- Меньшие выбросы в атмосферу

## ■ Недостатки:

- Ядерное топливо требует сложных, дорогих и длительных усилий по переработке и хранению;
- Низкая маневренность (трудности с регулированием уровня вырабатываемой мощности);
- Большие затраты на постройку станции, ее инфраструктуры, а также на последующую ликвидацию;
- Хотя крупные аварии статистически маловероятны, последствия их крайне тяжелы

# ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

- Используют для производства электроэнергии энергию водного потока
- Обычно требуют строительства плотины, повышающей уровень воды (кроме микроГЭС)
- Доля в мировом производстве электроэнергии до 19% при общей установленной мощности 715 ГВт
- Мировые лидеры: Норвегия, Исландия, Канада



# ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

## ■ Достоинства:

- низкая себестоимость производства электроэнергии по сравнению с тепловыми станциями;
- отсутствие вредных отходов и выбросов;
- высокая маневренность;
- отсутствие «теплового загрязнения» водоемов;
- возобновляемость источника энергии

## ■ Недостатки:

- довольно высокая капиталоемкость строительства;
- затопление достаточно обширных территорий;
- отрицательное влияние плотин на рыбное хозяйство;
- повышение уровня грунтовых вод;
- сезонные колебания водопритока и генерируемой мощности

# ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ УКРАИНЫ

- Днепровский каскад:
  - Киевская ГЭС (388,8 МВт);
  - Каневская ГЭС (444 МВт);
  - Кременчугская ГЭС (625 МВт);
  - Днепродзержинская ГЭС (352 МВт);
  - **Днепровская ГЭС (1538,2 МВт);**
  - Каховская ГЭС (351 МВт)
- Днестровский каскад:
  - Днестровская ГЭС-1 (702 МВт);
  - Днестровская ГЭС-2 (27,3 МВт)
- Теребле-Ричская (ГЭС 27 МВт)

# ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (ГАЭС)

- Предназначены для компенсации суточных перепадов энергопотребления

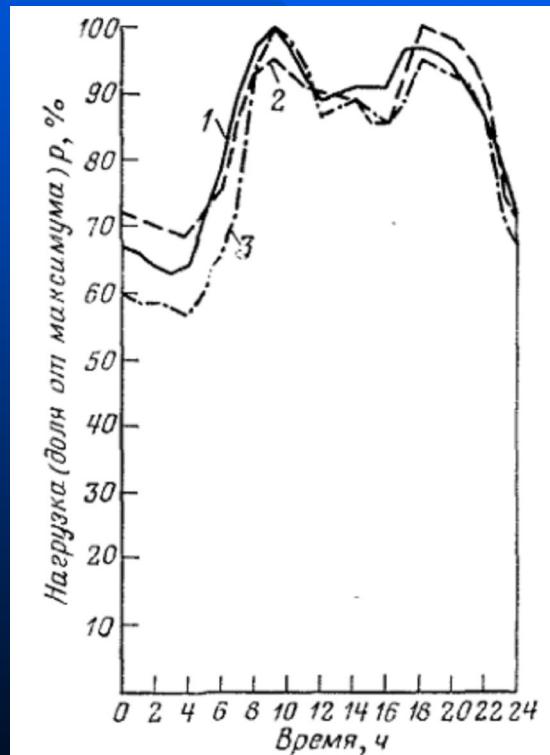


График нагрузки энергосистемы

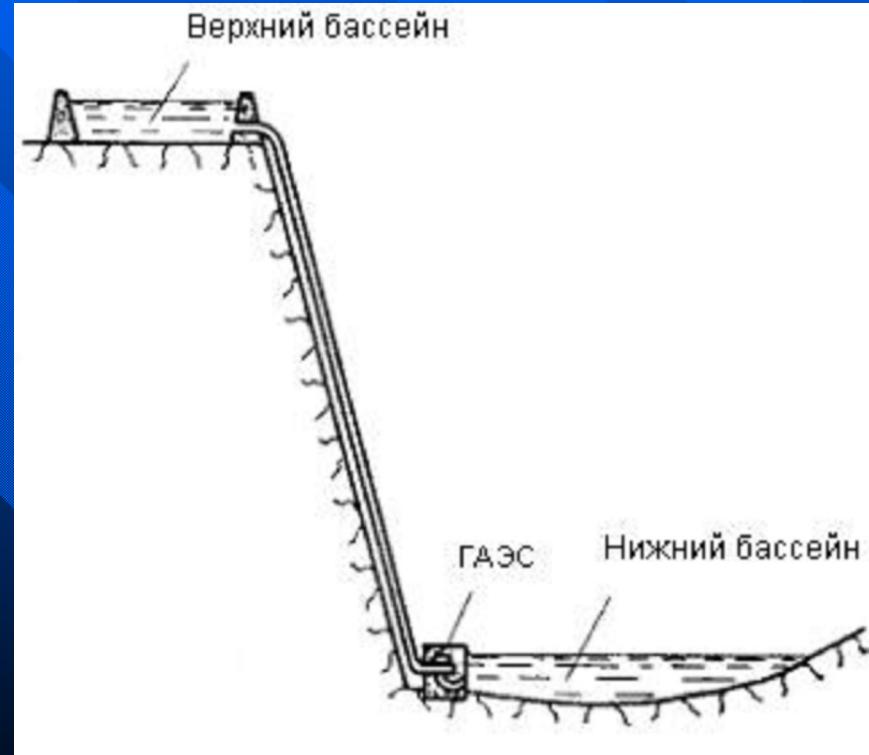


Схема ГАЭС

# ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

## ■ Режимы работы:

### – Насосный:

- » перекачка воды в верхний бьеф в часы ночного провала энергопотребления (аккумуляция энергии)

- » стоимость электроэнергии минимальна;

### – Генераторный (турбинный):

- » сброс воды в нижний бьеф в часы утреннего и вечернего пиков энергопотребления (генерация электроэнергии)

- » стоимость электроэнергии максимальна

# ГАЭС в УКРАИНЕ

- Днестровская ГАЭС 450 МВт (проектная мощность 3010 МВт);
- Ташлыкская ГАЭС (Южный Буг) 302 МВт);
- Киевская ГАЭС 235,5 МВт (первая ГАЭС в СССР);
- Каневская ГАЭС (строится)

# ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (ТЭС)

- Для производства электроэнергии используются различные виды ископаемого топлива (мазут, газ, уголь, торф, сланцы), сжигаемого в котлах
- Помимо электрической, могут производить также тепловую энергию для целей отопления (теплоэлектроцентрали, ТЭЦ)

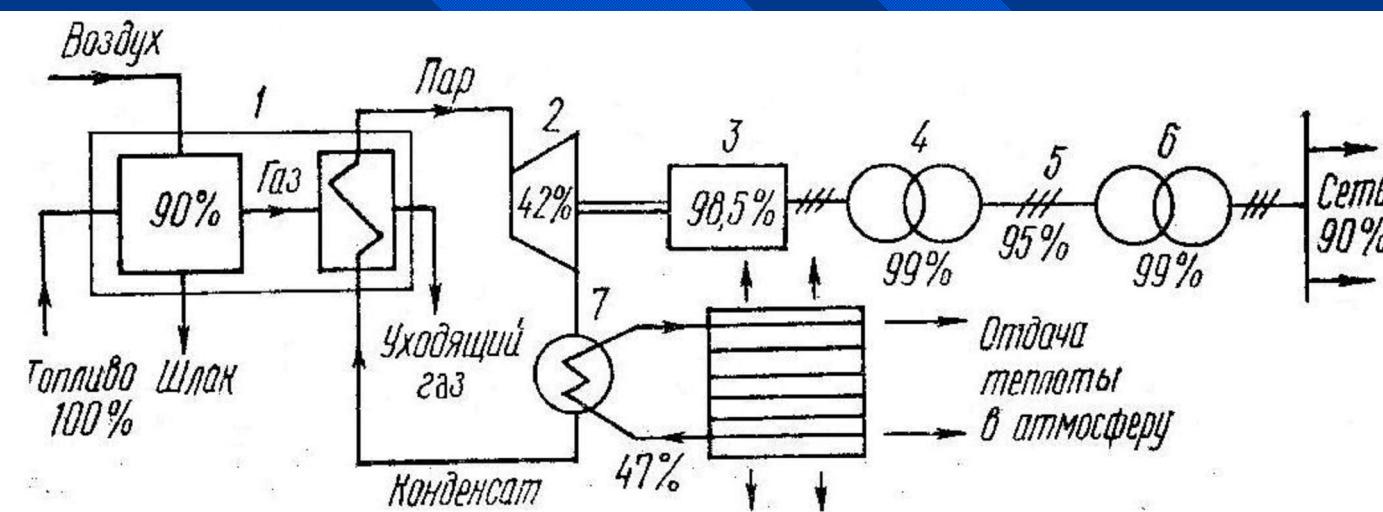


# ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

- Преимущества:
  - высокая маневренность;
  - достаточно большая сырьевая база (особенно в Украине)
- Недостатки:
  - вредные выбросы в атмосферу. В Украине:
    - » 30% всех твердых выбросов;
    - » 63% серного ангидрида;
    - » 53% окиси азота
  - твердые отходы (зола) при сжигании твердых видов топлива;
  - радиоактивность выбросов и твердых отходов выше, чем у атомных станций

# ТЭС В УКРАИНЕ

- Основной источник электроэнергии (около 47%)
- Сосредоточены в основном на Востоке и в Центре страны
- Крупнейшие ТЭС:
  - Запорожская (3600 МВт);
  - Углегорская (2800 МВт);
  - Бурштынская (1600 МВт)
- Крупнейшая ТЭЦ – Приднепровская (1749 МВт)

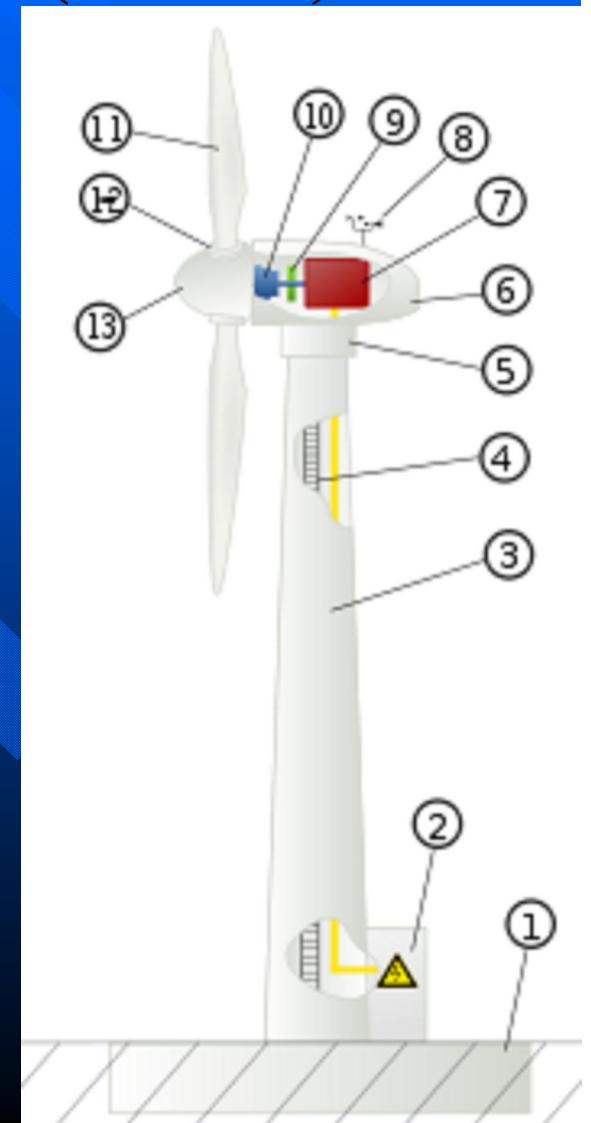


# ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

- В электрическую энергию преобразуется кинетическая энергия ветрового потока (при скорости ветра от 3 до 25 м/с)
- Наиболее бурно развивающаяся отрасль:
  - установленная мощность всех ветрогенераторов мира с 2000 до 2009 г. выросла в 6 раз (до 157 ГВт);
- Доля в общем производстве электроэнергии (2007):
  - весь мир 1,3% ;
  - Европейский Союз 3%;
  - Германия 6,2%;
  - Дания 18,3%
- Распределение по континентам (2007):
  - Европа – 61%%
  - Северная Америка – 20%;
  - Азия – 17%
- Лидеры: США, Германия, Китай, Испания, Индия

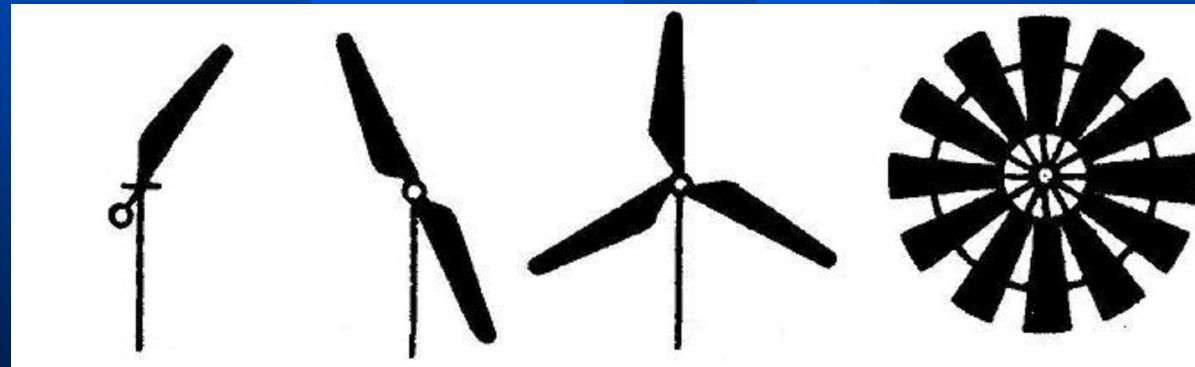
# КОНСТРУКЦИЯ ВЕТРОУСТАНОВКИ (ВЭУ)

- 1 – фундамент;
- 2 – шкаф с электрооборудованием и системой управления;
- 3 – башня;
- 4 – лестница;
- 5 – поворотный механизм;
- 6 – гондола;
- 7 – генератор;
- 8 – система слежения за направлением и скоростью ветра
- 9 – тормозная система;
- 10 – редуктор (может отсутствовать);
- 11 – лопасти;
- 12 – система изменения угла атаки лопасти (может отсутствовать);
- 13 – ветротурбина



# КОНСТРУКЦИЯ ВЕТРОУСТАНОВКИ (ВЭУ)

- Ветротурбины – преимущественно трехлопастные;
- Диаметр ветротурбины до 126 м
- Высота башни до 120 м;
- Единичная мощность до 8 МВт;



# ТИПЫ ВЕТРОУСТАНОВОК

- Величина и частота выходного напряжения электрического генератора пропорциональны скорости вращения
- ВЭУ с постоянной скоростью вращения:
  - для стабилизации частоты вращения генератора при переменной скорости ветра изменяется угол атаки лопасти;
  - имеется повышающий редуктор (мультипликатор) между турбиной и генератором для согласования скоростей их вращения
  - устаревшая модель
- ВЭУ с переменной скоростью вращения:
  - между генератором и энергосистемой включен преобразователь частоты, согласующий уровень и частоту генерируемого напряжения;
  - наиболее перспективный тип

# ТИПЫ ВЕТРОУСТАНОВОК

## ■ Сетевые:

- передают выработанную энергию энергосистеме;
- мощность до 8 МВт;
- преобладающий на сегодня тип

## ■ Автономные:

- снабжают энергией изолированных потребителей, не имеющих доступа к энергосистеме
  - » энергия используется для отопления, освещения, питания средств связи
- для повышения надежности энергоснабжения обычно работают совместно с аккумулятором, дизель-генератором или солнечными батареями;
- мощность до 100 кВт

# ВЕТРОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

- В состав ветроэлектростанции (ВЭС) или ветряной фермы может входить до 100 и более ветроустановок



# ТИПЫ ВЭС

## ■ Наземная

- на холмах и возвышенностях

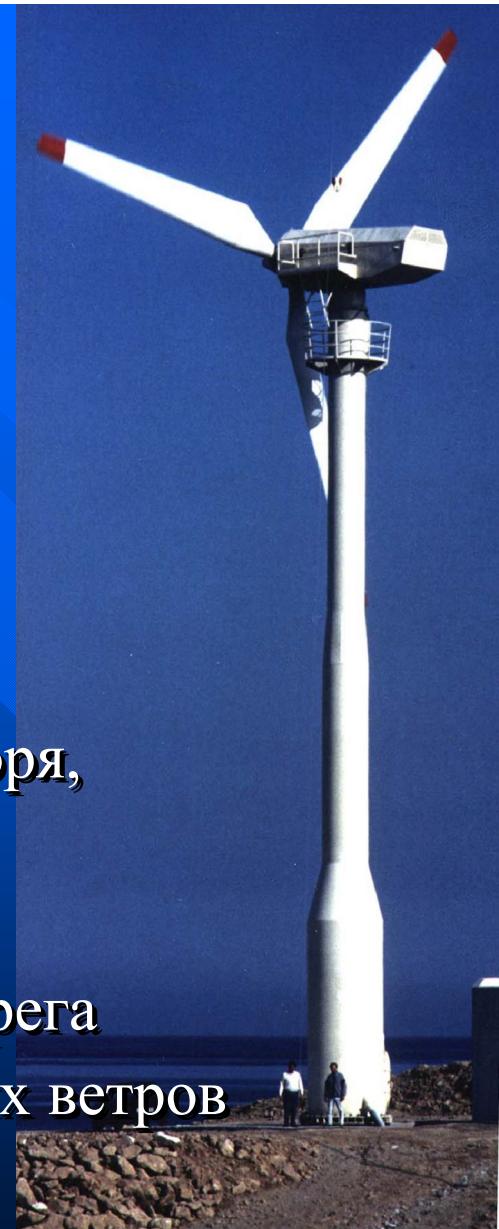
## ■ Прибрежная

- на суше вблизи берега
- использует энергию бризов (днем – с моря, ночью – с суши)

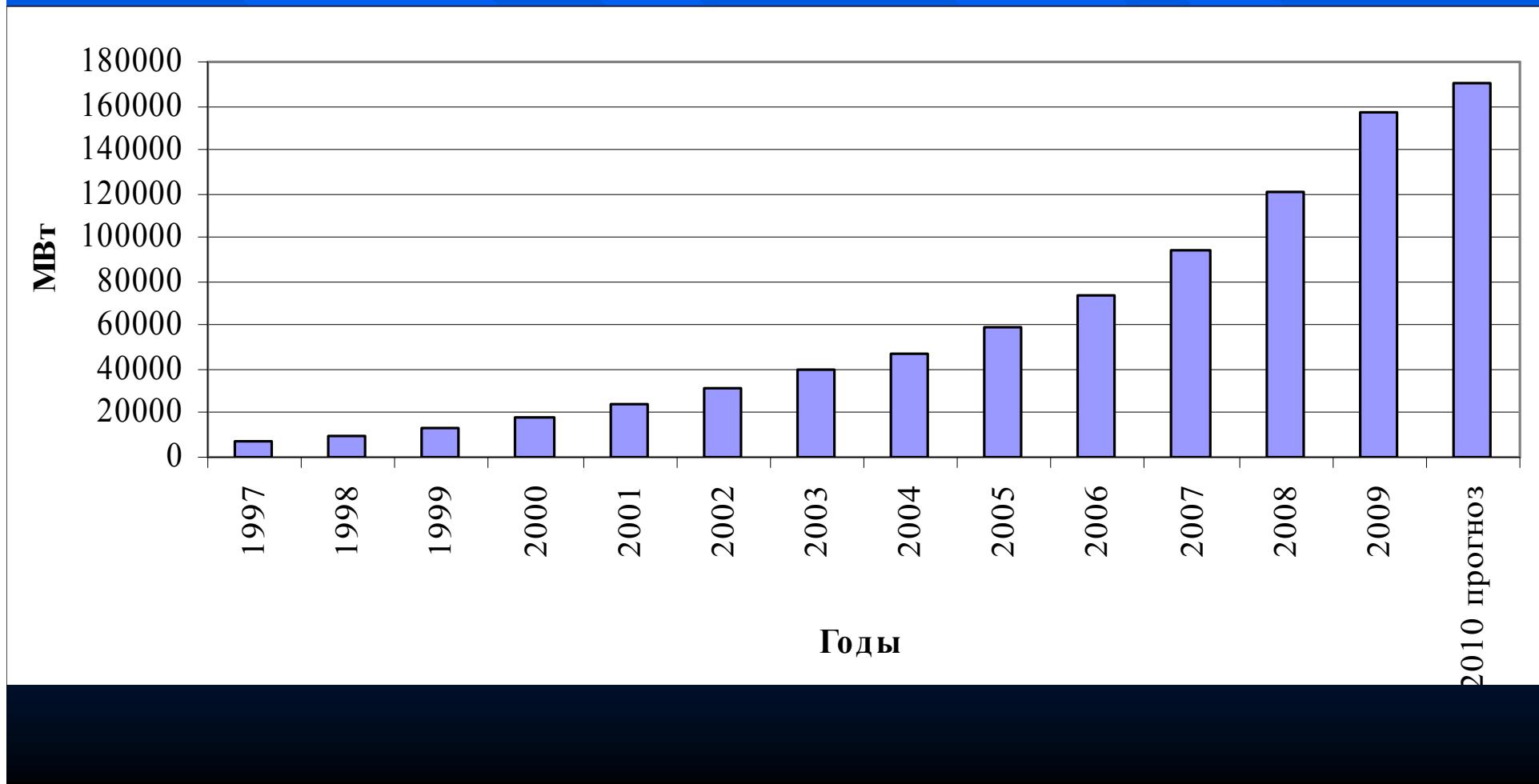
## ■ Оффшорная

- в море на мелководье в 10...12 км от берега
- использует энергию регулярных морских ветров

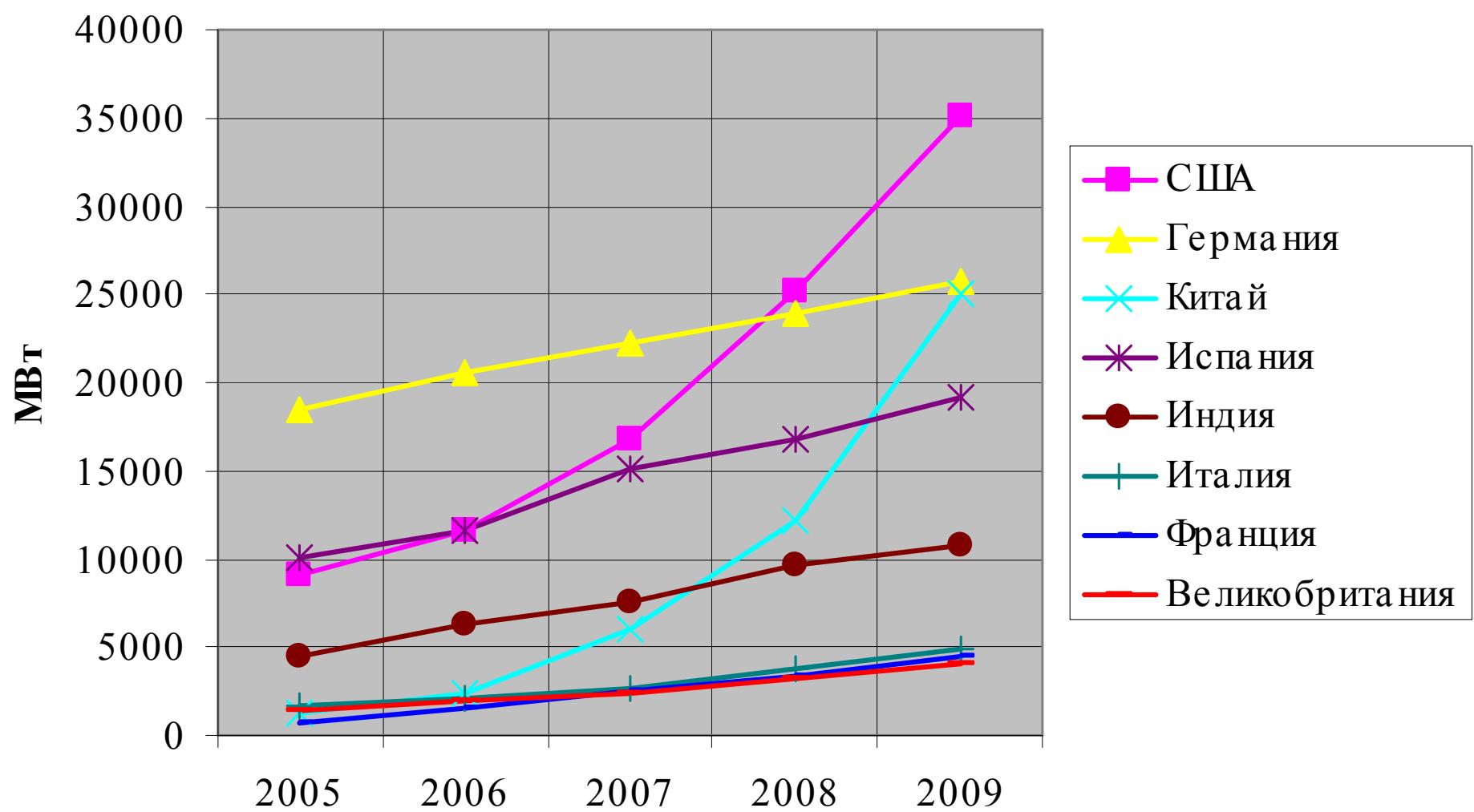
## ■ Плавающая



# УСТАНОВЛЕННАЯ МОЩНОСТЬ ВЭС (весь мир)



# УСТАНОВЛЕННАЯ МОЩНОСТЬ ВЭС (по странам)



# ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

## Перспективы

- Запасы энергии ветра в 100 раз превосходят запасы энергии всех рек планеты
- Планируемая доля ветроэнергетики:
  - Германия – 20% (2020)
  - Канада – 10% (2015)
  - Великобритания – 10% (2010)

# ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

## ■ Преимущества:

- возобновляемость энергоресурса;
- отсутствие вредных выбросов и отходов (при эксплуатации);
- большой потенциал

## ■ Недостатки:

- суточная и сезонная неравномерность ветрового потока;
- себестоимость электроэнергии выше по сравнению с ТЭС (кроме США);
- механический и аэродинамический шум при работе;
- низкочастотные вибрации, передаваемые через почву;
- очень высокие требования к надежности (трудности с техническим обслуживанием);
- генерация радиопомех

# ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА УКРАИНЫ

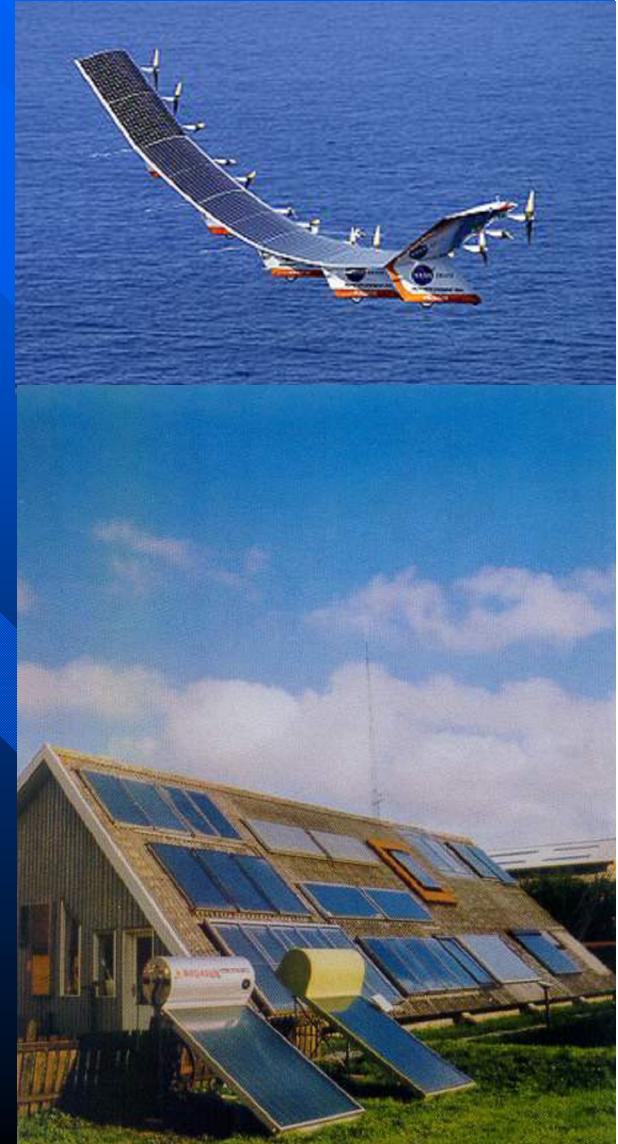
- Украина – лидер среди стран СНГ по уровню развития ветроэнергетики
- Наиболее перспективные регионы – побережья Азовского и Черного морей, Прикарпатье
- Основные ВЭС:
  - Донузлавская 10 МВт;
  - Тарханкутская 15,9 МВт;
  - Новоазовская 20,4 МВт;
  - Ботиевская 90 МВт (2012), 195 МВт (2014)

# ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКА

- Гелиоэнергетика (солнечная энергетика) использует солнечное излучение для получения электрической или тепловой энергии:
  - солнечные батареи на фотоэлементах;
  - тепловые коллекторы
- Перспективы:
  - мощность солнечного излучения на душу населения Земли 30 МВт;
  - среднедушевая мощность всех используемых видов энергоисточников 0,8 кВт (США – 10 кВт);
  - ожидаемая доля солнечной энергии в мировом энергопотреблении к середине XXI ст. – 18%

# ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКА

- Установленная мощность гелиоустановок:
  - 1985 г. – 21 МВт
  - 2005 г. – 5 ГВт
  - только за 2006 г. установлено 1,774 ГВт
- Распределение установленной мощности:
  - Германия 39%;
  - Япония 30%;
  - США 9%;
  - остальной мир 22%
- Области применения:
  - генерация электроэнергии в энергосистему;
  - питание автономных потребителей  
(космические аппараты, транспортные  
средства, теплицы, здания);
  - нагрев воды

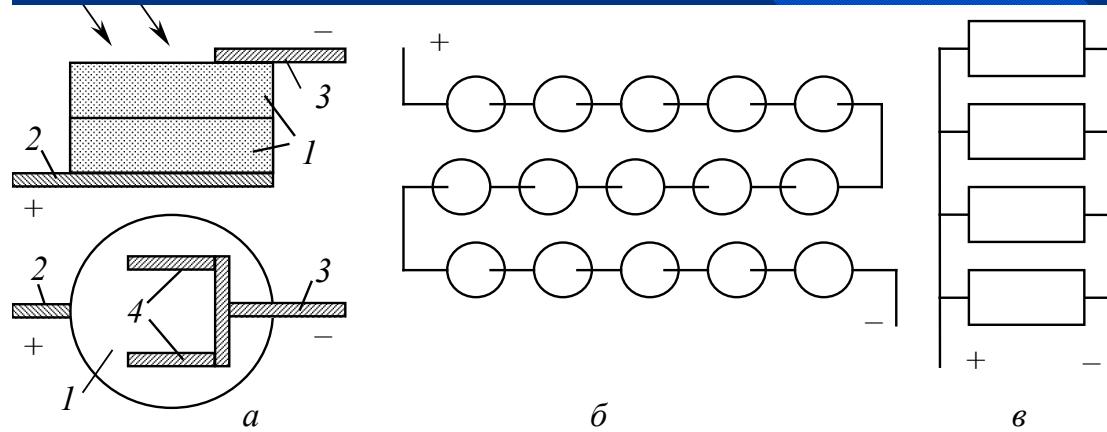


# ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКА УКРАИНЫ

- Общая установленная мощность солнечных электростанций 60 МВт
  - электростанция в Родниково (Крым) 7,5 МВт (2010 г.);
  - электростанция в Охотнико (Крым) 20 МВт (запущена первая очередь)

# СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ

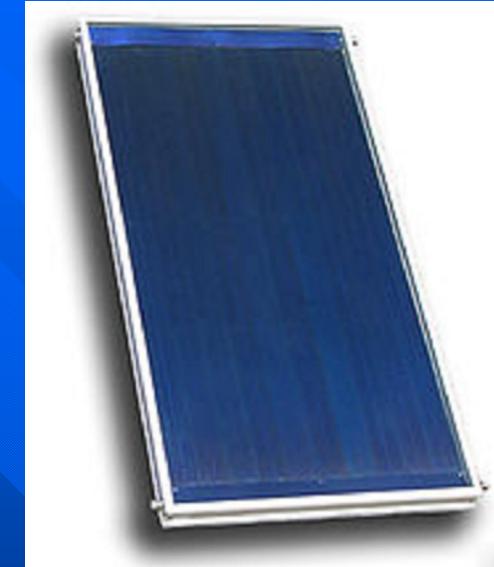
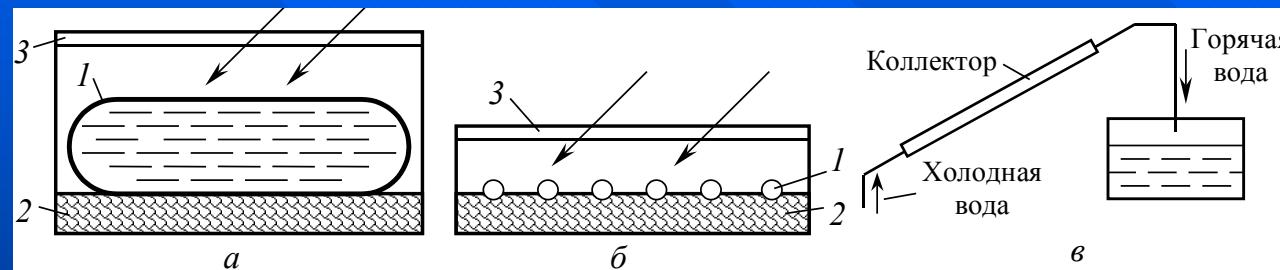
- Принцип действия – фотоэффект
  - при освещении многослойного полупроводникового материала (фотоэлемента) между его слоями появляется разность потенциалов около 0,5 В
- Для увеличения мощности фотоэлементы соединяют последовательно в модули, а модули – параллельно в батареи
- Назначение – генерация электроэнергии



а – fotoэлемент; б – модуль; в - батарея

# Солнечные коллекторы (гелиоприемники)

## ■ Плоские



## ■ С параболоидными концентраторами

Служат для получения сравнительно низкотемпературной тепловой энергии



# ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКА

## ■ Преимущества:

- практическая неисчерпаемость источника энергии;
- экологическая чистота процесса генерации;
- меньшая занимаемая территория (по сравнению с ГЭС)

## ■ Недостатки:

- высокая стоимость как самой установки, так и генерируемой электроэнергии;
- неравномерность светового излучения во времени (время суток, сезон, погодные условия);
- зависимость мощности светового потока от широты;
- изменение микроклимата в районе солнечной электростанции большой мощности

# ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

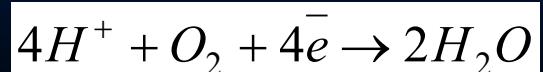
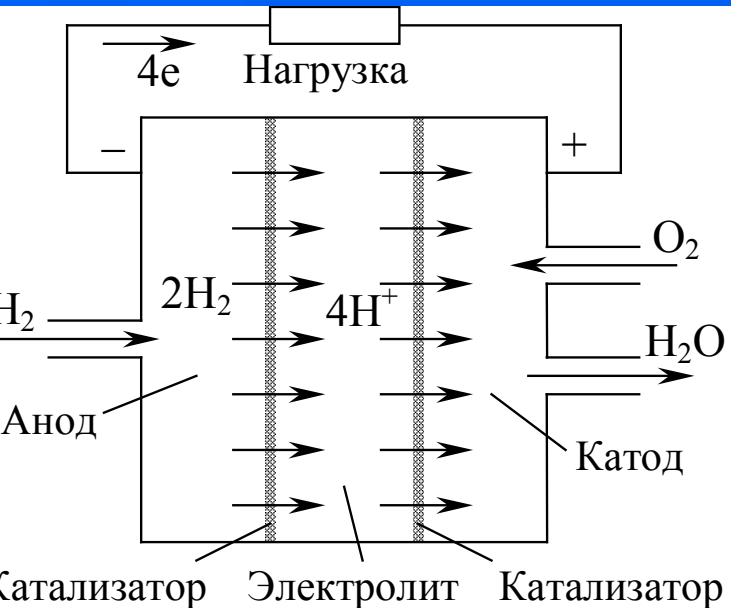
- Основана на использовании водорода как средства для аккумулирования, транспортировки и производства энергии
- Технологии водородной энергетики базируются на применении топливных элементов
- Сыре для получения водорода: пропан, метан, биогаз, природный газ, керосин, газификация угля, электролиз воды

# ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

- ТЭ – химический источник тока, в котором происходит процесс электрохимического окисления водорода, т.е. процесс, обратный электролизу
- Под воздействием катализатора атомы водорода теряют электрон, превращаясь в положительно заряженные ионы:



- Если первую емкость (анод) соединить со второй (катодом) электрической цепью, содержащей нагрузку, по полученной цепи электроны с анода через нагрузку перейдут на катод и соединятся там с ионами водорода и атомами кислорода в молекулы воды:



# ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

## ■ Преимущества:

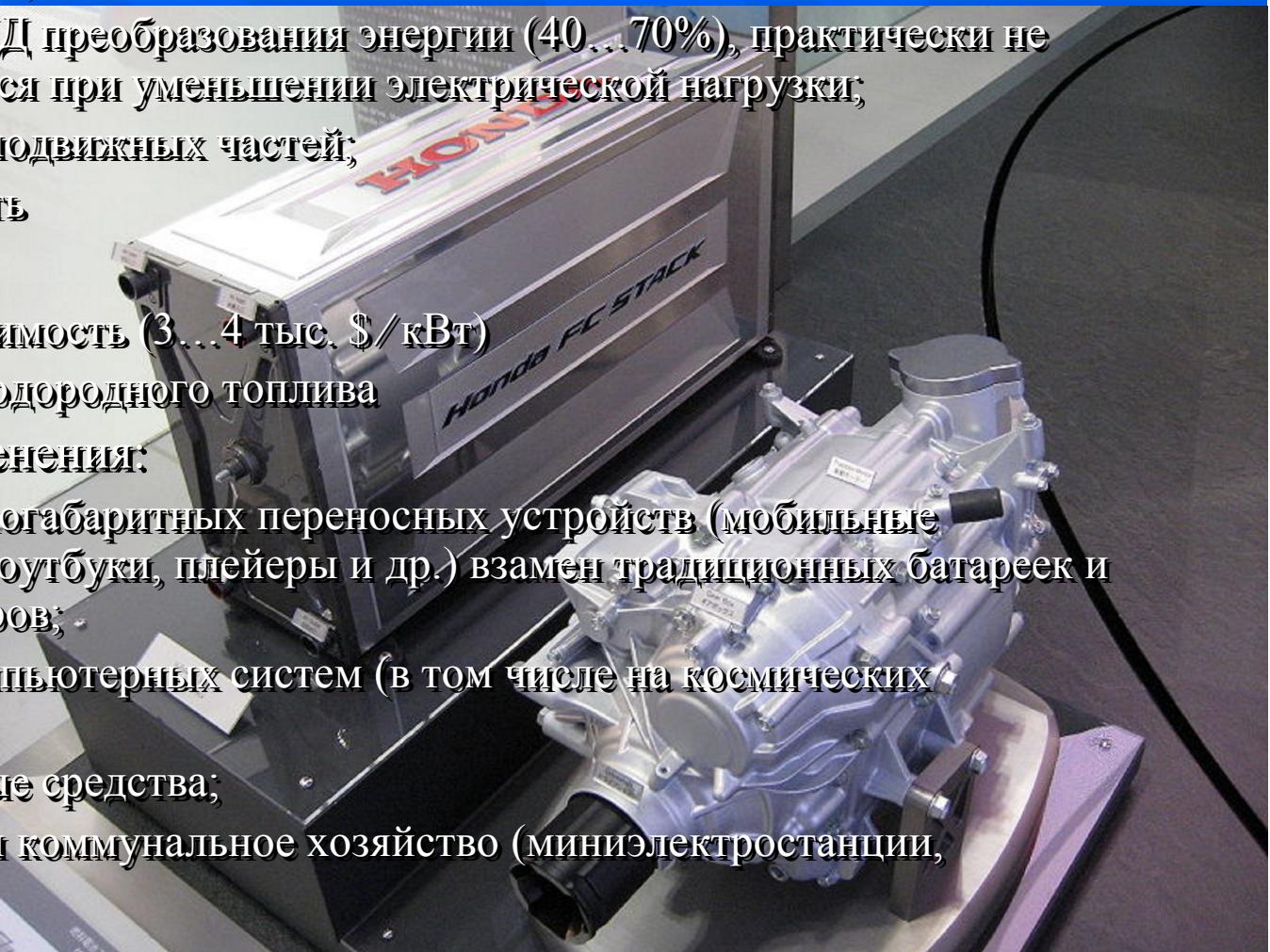
- отсутствие вредных выбросов (конечным продуктом реакции является вода);
- высокий КПД преобразования энергии (40...70%), практически не снижающийся при уменьшении электрической нагрузки;
- отсутствие подвижных частей;
- компактность

## ■ Недостатки:

- высокая стоимость (3...4 тыс. \$/кВт)
- опасность водородного топлива

## ■ Области применения:

- питание малогабаритных переносных устройств (мобильные телефоны, ноутбуки, плейеры и др.) взамен традиционных батареек и аккумуляторов;
- питание компьютерных систем (в том числе на космических кораблях);
- транспортные средства;
- энергетика и коммунальное хозяйство (миниэлектростанции, котельные)



# ВОДОРОДНЫЙ ТРАНСПОРТ

- Предпосылки:
  - все виды транспорта дают 23% выбросов CO<sub>2</sub>;
  - рост цен на энергоносители
- Автомобили и автобусы (BMW, Daimler, General Motors, Honda, Nissan, Toyota, Hyundai, Volkswagen, Mercedes, Ford):
  - первичный источник энергии – топливный элемент, приводные двигатели – электрические;
  - при заправке газом или бензином первичное топливо перерабатывается в водород на борту ;
  - пробег без дозаправки 400 км;
  - расход топлива (в бензиновом эквиваленте) – 3,9 л на 100 км;
  - КПД вдвое выше по сравнению с дизельными и в 3-4 раза – по сравнению с двигателями внутреннего сгорания;
  - необходимо развитие сети заправочных станций («водородное шоссе» в Калифорнии)



# ВОДОРОДНЫЙ ТРАНСПОРТ

- Мотоциклы, велосипеды, скутеры
- Воздушный транспорт: силовые и вспомогательные энергетические установки, источники бесперебойного питания (Boeing, Airbus)
- Железнодорожный транспорт:
  - тяговый привод,
  - источники бортового питания
- Подводные и надводные суда;
- Вспомогательный транспорт:
  - складские погрузчики



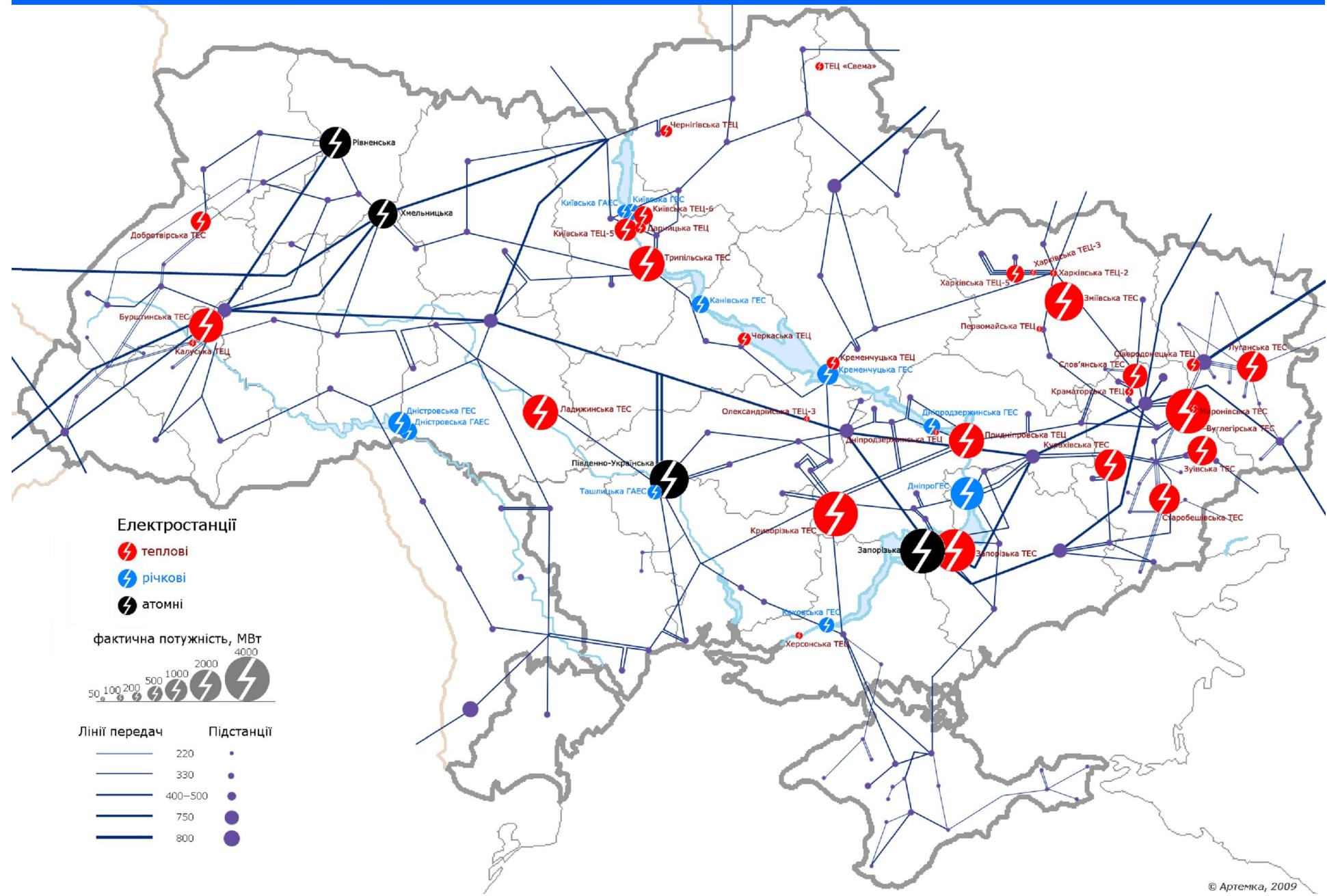
# ЭНЕРГОСИСТЕМА

- Подавляющее большинство мощных электростанций региона, страны или группы стран с помощью линий электропередачи (ЛЭП) объединяются в энергосистему (ЭС)
- Преимущества такого объединения:
  - передача энергии в энергодефицитные регионы;
  - возможность маневра генерирующими мощностями;
  - повышение надежности электроснабжения;
  - высокое качество поставляемой электроэнергии (синусоидальность, симметричность, стабильность уровня и частоты);
  - экспорт электроэнергии за рубеж

# ЭНЕРГОСИСТЕМА

- Состав:
  - система электроснабжения:
    - » электростанции
    - » электрические сети:
      - линии электропередачи
      - трансформаторные подстанции
      - распределительные пункты
  - потребители (электроприемники)
- Передача электроэнергии в ЭС производится посредством трехфазного переменного тока

# ЭНЕРГОСИСТЕМА УКРАИНЫ



# ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

- Сверхдальние (500 кВ):
  - для связи энергосистем
- Магистральные (220, 330 кВ):
  - передача энергии от мощных электростанций;
  - связь энергосистем;
  - соединение электростанций с распределительными пунктами
- Распределительные (35, 110, 150 кВ):
  - электроснабжение предприятий и населенных пунктов
- Подводящие (20 кВ и ниже):
  - подвод электроэнергии к потребителям

# ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

- По роду тока:
  - ЛЭП переменного тока;
  - ЛЭП постоянного тока
- По конструкции:
  - воздушные линии (ВЛ)
  - кабельные линии (КЛ):
    - » подземные;
    - » подводные;
    - » по сооружениям



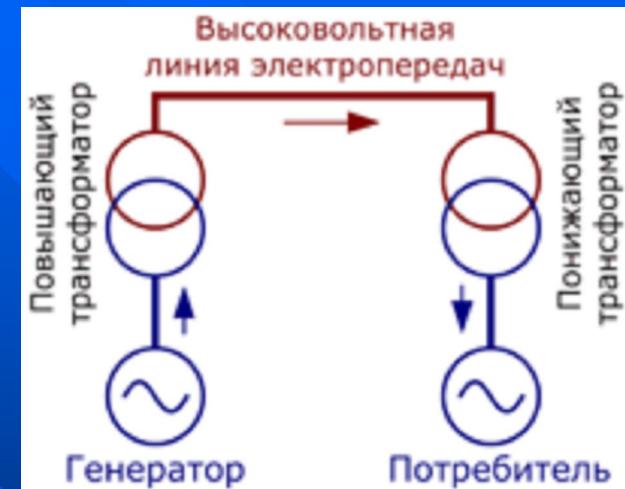
# УРОВЕНЬ НАПРЯЖЕНИЯ И ПОТЕРИ

- Передаваемая мощность

$$P = UI$$

- Мощность потерь

$$\Delta P = I^2 R = \frac{P^2 R}{U^2}$$



- Чем выше мощность электроустановки (ЛЭП, электродвигателя, генератора), тем на большее напряжение она должна быть рассчитана
- Стандартные уровни напряжения: 220 В, 380 В, 660 В, 1240 В..., 6 кВ, 10 кВ, 35 кВ...

# ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ

- Предназначены для преобразования уровня напряжения, приема и распределения электрической энергии
- Состав:
  - силовые трансформаторы;
  - распределительные устройства;
  - система защиты и автоматики
  - система заземления;
  - молниезащитные сооружения

# РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА (РУ)

- Служат для приема и распределения электроэнергии
- Состав:
  - коммутационные аппараты;
  - сборные и соединительные шины;
  - устройства релейной защиты и автоматики;
  - средства измерения



# РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА (РУ)

- Односекционные РУ
- Многосекционные РУ
  - резервирование питания
- Открытые РУ (ОРУ)
  - для высоких классов напряжения
- Комплектные РУ (КРУ)
  - оборудование смонтировано в **шкафу**

