

# Развитие солнечной энергетики

ПРОБЛЕМОЙ ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ ГЛАВНЫМ ОБРАЗОМ ИСКОПАЕМЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА – НЕФТЬ, ГАЗ, УГОЛЬ, ЯВЛЯЕТСЯ ИСТОЩЕНИЕ ИХ ЗАПАСОВ, КОТОРЫЕ ДАЛЕКО НЕ БЕСКОНЕЧНЫ. ПОЭТОМУ ИХ НАЗЫВАЮТ НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ. ПОТРЕБЛЕНИЕ НЕФТИ В МИРЕ В ТЕЧЕНИЕ ОДНОГО ГОДА ЭКВИВАЛЕНТНО ЕЕ КОЛИЧЕСТВУ, ОБРАЗУЮЩЕМУСЯ ЗА 2 МЛН.ЛЕТ. ИСТОЩЕНИЕ РЕСУРСОВ ПОВЫШАЕТ СЕБЕСТОИМОСТЬ И ТРУДОЕМКОСТЬ ДОБЫЧИ, А ТАКЖЕ СОКРАЩЕНИЕ ОБЪЕМОВ ДОБЫВАЕМОГО ТОПЛИВА.

СОКРАЩЕНИЕ ЗАПАСОВ ПРИРОДНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ, НЕИЗБЕЖНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПОСТАВИЛИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВО ПЕРЕД НЕОБХОДИМОСТЬЮ ПОИСКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ. ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ЗЕМЛЕ МНОГО, НО ИХ УЖЕ СЕЙЧАС КАТАСТРОФИЧЕСКИ НЕ ХВАТАЕТ. ПО ПРОГНОЗАМ ЭКСПЕРТОВ К 2020 ГОДУ ЭНЕРГИИ ПОТРЕБУЕТСЯ ПОЧТИ В ТРИ РАЗА БОЛЬШЕ, ЧЕМ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ. КРИЗИС 70-Х ГОДОВ ДВАДЦАТОГО ВЕКА СТАЛ ПЕРВЫМ ВЕСТНИКОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИЗИСА, ВЫЗВАВШИМ ПОВЫШЕННЫЙ ИНТЕРЕС К АЛЬТЕРНАТИВНЫМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМ ИСТОЧНИКАМ ЭНЕРГИИ. ТАКИМИ ИСТОЧНИКАМИ ЯВЛЯЮТСЯ:

- СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ;
- ЭНЕРГИЯ ВЕТРА;
- ГИДРОЭНЕРГИЯ;
- ЭНЕРГИЯ БИОМАССЫ

Солнечная энергетика – направление нетрадиционной энергетике, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком – либо виде. Солнечная энергетика использует неисчерпаемый источник энергии, не вызывает вредных отходов и является экологически чистой.

Главной задачей солнечной энергетике является поиск способов увеличения КПД процесса преобразования солнечной энергии, а так же поиски новых методов преобразования солнечной радиации в какую – либо другую.

Солнечная энергетика основывается на том, что поток солнечного излучения, проходящего через участок площадью  $1\text{ м}^2$ , расположенный перпендикулярно потоку излучения на расстоянии одной астрономической единицы от Солнца (на входе в атмосферу), равен  $1367\text{ Вт/м}^2$  (солнечная постоянная). Через поглощение, при прохождении атмосферы Земли, максимальный поток солнечного излучения на уровне моря (на Экваторе) –  $1020\text{ Вт/м}^2$ . Среднесуточное значение потока солнечного излучения через единичный горизонтальный участок как минимум в три раза меньше из-за смены дня и ночи и изменения угла солнца над горизонтом. Зимой в умеренных широтах это значение еще в два раза меньше.

Известны следующие способы получения энергии за счет солнечного излучения:

Получение электроэнергии с помощью фотоэлементов

Преобразование солнечной энергии в электрическую с помощью тепловых машин:

а) паровые машины (поршневые или турбинные), использующих водяной пар, углекислый газ, пропан – бутан, фреоны;

б) двигатель Стирлинга и тд

Гелиотермальная энергетика – преобразование солнечной энергии в тепловую за счет нагрева поверхности, поглощающей солнечные лучи.

Солнечные азростатные электростанции (генерация водяного пара внутри баллона азростата за счет нагрева солнечным излучением поверхности азростата, покрытой селективно – поглощающим покрытием).



Развитие солнечной энергетики основано на следующих основных типах солнечных электростанций (СЭС):

---

СЭС башенного типа;

СЭС распределительного типа, в том числе тарельчатого типа и использующие параболические концентраторы;

СЭС, использующие фотобатареи;

Комбинированные СЭС.

Не смотря на то, что солнечная энергия является общедоступным, неисчерпаемым и экологически чистым источником, в ее использовании имеются и свои сложности например, зависимость от времени и погодных условий. Поэтому ученые всего мира работают над разработкой аккумулирующих технологий и оптимизацией самого процесса. В перспективе развитие солнечной энергетики получит хороший толчок после внедрения проекта «Дезертек» в пустыне Сахара, что позволит обеспечить электроэнергией большую часть Северной Африки и до 15%

# НЕДОСТАТКИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

---

Для строительства солнечных электростанций требуются большие площади земли через теоретические ограничения для фотоэлементов первого и второго поколения.

Фотоэлектрические преобразователи работают днем, а также в утренних и вечерних сумерках (с меньшей эффективностью). При этом пик электропотребления приходится именно на вечерние часы. Кроме того, произведенная ими электроэнергия может резко и неожиданно колебаться из-за изменений погоды. Для преодоления этих недостатков на солнечных электростанциях используются эффективные электрические аккумуляторы



# РАЗВИТИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Отцами солнечной энергетики на нашей планете следует считать французского физика Александра Эдмона Беккереля, электрика-изобретателя из Нью-Йорка Чарльза Фриттса, а также знаменитого Альберта Эйнштейна, обладателя Нобелевской премии. Первый, ещё в 1839 году заметил фотоэффект, представляющий собой излучение электронов под воздействием солнечного света. Второй, 44 года спустя, создал первый солнечный модуль — покрытый тонким слоем золота селен. КПД этой первой солнечной батареи был весьма низок — около 1% (из всего «улавливаемого» модулем солнечного света в энергию превращался лишь 1%). Но это бы первый шаг. В 1905 году Эйнштейн получает Нобелевскую премию как раз за доработку идей Беккереля. В 30-х годах прошлого века отечественные учёные под руководством академика А.Ф. Иоффе создали первые солнечные сернисто-таллиевые элементы. КПД их тоже был низок. Однако работы над солнечными батареями продолжились. В начале 50-х годов XX века, в США, в лаборатории компании Bell Telephone, Джеральд Пирсон со товарищи установил, что кремний с определённым покрытием заметно более чувствителен к солнечному свету, чем селен. В итоге была создана солнечная ячейка-батарея с КПД около 6% — началась эра развития солнечных батарей.

Серьезным позитивным сдвигом в развитии солнечной энергетики послужило создание американцами в 90-х годах прошлого столетия особых цветосенсибилизированных типов солнечных батарей, более эффективных, чем применяемые ранее. Этот новый тип батарей более экономически выгоден, да и производить их проще. На сегодняшний день основная масса выпускаемых солнечных батарей имеет КПД чуть более 20 процентов. В 1989 году было создано опытное устройство, работающее с КПД более 30%. А в 2010 году компания Boeing объявила о достижении принадлежащей ей лаборатории Spectrolab - созданию серийных солнечных панелей марки СЗМJ+, обладающих эффективностью 39,2%. К первым покупателям эти батареи поступили в январе 2011 года



Использование солнечной энергии в России в соответствии с программой развития нетрадиционной энергетики предусматривалось в 13 регионах: Алтайском, Краснодарском, Приморском, Ставропольском и Хабаровском краях, Кабардино-Балкарии, Калмыкии, Северной Осетии, Чечне и Ингушетии, Астраханской, Волгоградской и Ростовской областях.

Однако осуществляется программа пока только в четырех регионах: в Краснодарском крае (города Краснодар, Новороссийск, Тимошевск, Усть-Лабинск), Ростовской обл. (г. Азов), Кабардино-Балкарии (г. Нальчик) и в Дагестане (села Гимры, Рубас, Хун-зах и др.).

Использование солнечной энергии для отопления, горячего водоснабжения, сушки овощей и фруктов и ряд других технологических процессов в сельском хозяйстве определяется объемом выпуска солнечных коллекторов.

Простейшая и наиболее дешевая система солнечного горячего водоснабжения основана на термосифонном принципе. Система состоит из солнечного коллектора и расположенного выше него бака-аккумулятора горячей воды. Плотность воды, нагретой в коллекторе, меньше, чем плотность более холодной воды в нижней части бака-аккумулятора, в результате чего в контуре возникает циркуляция. Когда бак-аккумулятор не может быть расположен выше коллектора (например, в больших системах), тогда циркуляция воды осуществляется насосом

# . ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

В большинстве высокоразвитых стран годовое количество солнечной энергии, падающей на крыши жилых домов, значительно превосходит величину энергии, необходимой для их отопления или охлаждения. Поэтому естественно прежде всего говорить об использовании солнечной энергии для подобных целей. В некоторых странах солнечная энергия уже применяется для приготовления сушеных пищевых продуктов и опреснения воды. Наиболее подходящими районами для сооружения энергостанций, работающих на солнечной энергии, являются огромные зоны пустынь, которые опоясывают почти весь земной шар в районах тропиков.

Первая промышленная солнечная установка была изготовлена в Чили в Лас Салинасе для опреснения воды в 1972 г. (Ч. Уилсоном). Она состояла из 64 панелей длиной 61 и шириной 1,2 м, площадью – 47,56 м<sup>2</sup> и производила 19 тыс. литров свежей воды, причем по стоимости была даже ниже опреснительных установок, работающих на угле (95%). Использование солнечной энергии осуществляется по следующим 4 основным направлениям: теплотехническое, фотоэлектрическое, биологическое и химическое. Теплотехническое – это использование энергии солнца для производства теплоты, главным образом, низкого потенциального уровня (невысокие значения температур), в первую очередь, для отопления жилых домов. В качестве теплоносителя в этом случае используется или вода или воздух. Первые коллекторы, предназначенные для этих целей, появились в Италии в 1974 г. Одна из трудностей - обеспечение теплом зимой и в плохую погоду; для этого создаются тепловые аккумуляторы, простейшим из которых является емкость, заполненная галькой. В последнее время стали использовать глауберову соль, имеющую низкую температуру плавления. Как показывает опыт эксплуатации, за зимние месяцы с 1 октября по 1 апреля солнечные коллекторы позволяют обеспечить 44% отопления и 57% горячего водоснабжения. В СССР был построен ряд объектов подобного типа, в основном на юге страны, в г. Чирчик, г. Симферополе. Есть успешный опыт использования и в средней полосе - Подмосковье



Рассмотрим схему для опреснения воды. На рис. 4 показана простейшая система подобного назначения. Предназначенная для очистки вода набирается в поддон, расположенный в нижней части устройства, где она нагревается за счет поглощения солнечной энергии. Поверхность поддона обычно чернят, так как вода почти беспрепятственно пропускает коротковолновую часть солнечного излучения. (Иногда воду подкрашивают в черный цвет, и она становится поглотителем). С повышением температуры движение молекул воды становится более интенсивным и часть из них покидает поверхность воды. Подхваченные конвективными воздушными потоками такие молекулы уносятся прочь. Насыщенный водяными парами воздушный поток поднимается вверх, охлаждается; соприкасаясь с поверхностью прозрачного покрытия, пары частично конденсируются, а образовавшиеся капли стекают по ней вниз. Охлажденный, воздух вновь опускается к поверхности воды, замыкая цикл конвективного движения. Для повышения эффективности системы необходимо, чтобы при конденсации на поверхности покрытия образовывалась водная пленка, так как при конденсации воды в виде капель значительная часть падающей на поверхность покрытия солнечной радиации отражается ими. Даже при сравнительно больших углах наклона поверхности, когда вода довольно быстро стекает, примерно половина всей поверхности покрытия занята каплями воды. В зависимости от величины поверхностного натяжения воды и материала панели покрытия вода конденсируется на нем в том или ином виде. На тщательно очищенной от следов жира стеклянной поверхности обычно образуется пленка воды, тогда как почти на всех, даже более чистых пластмассовых поверхностях сконденсированная вода выпадает в виде капель. Это свойство пластических материалов можно заметить, наблюдая поведение капель воды на поверхности сумок и плащей

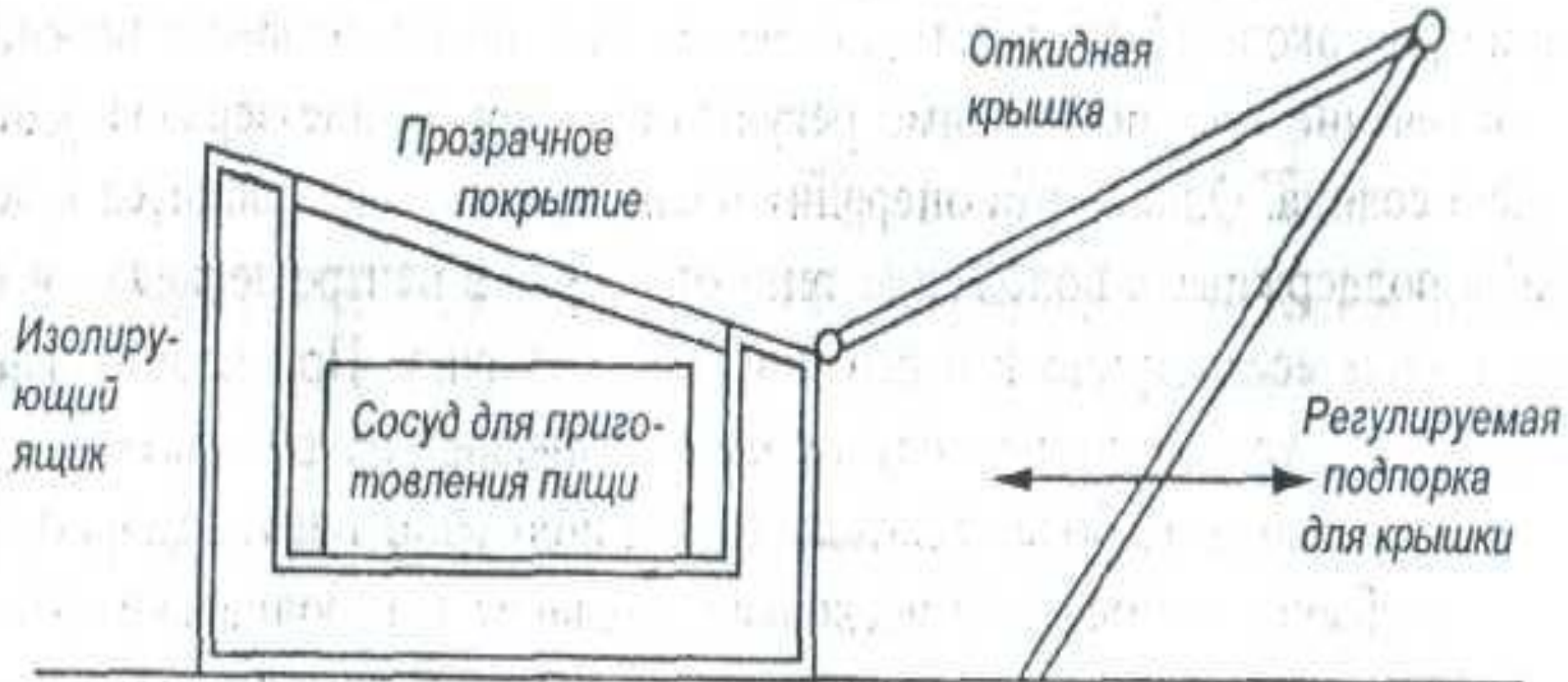
На некоторых новых пластических материалах возможна пленочная конденсация воды, но такие материалы вследствие высокой стоимости (приближающейся к стоимости стекла) для рассматриваемых целей непригодны. Средняя производительность солнечной опреснительной установки приравнивается к скорости выпадения осадков, последняя составляет 0,5 см в день





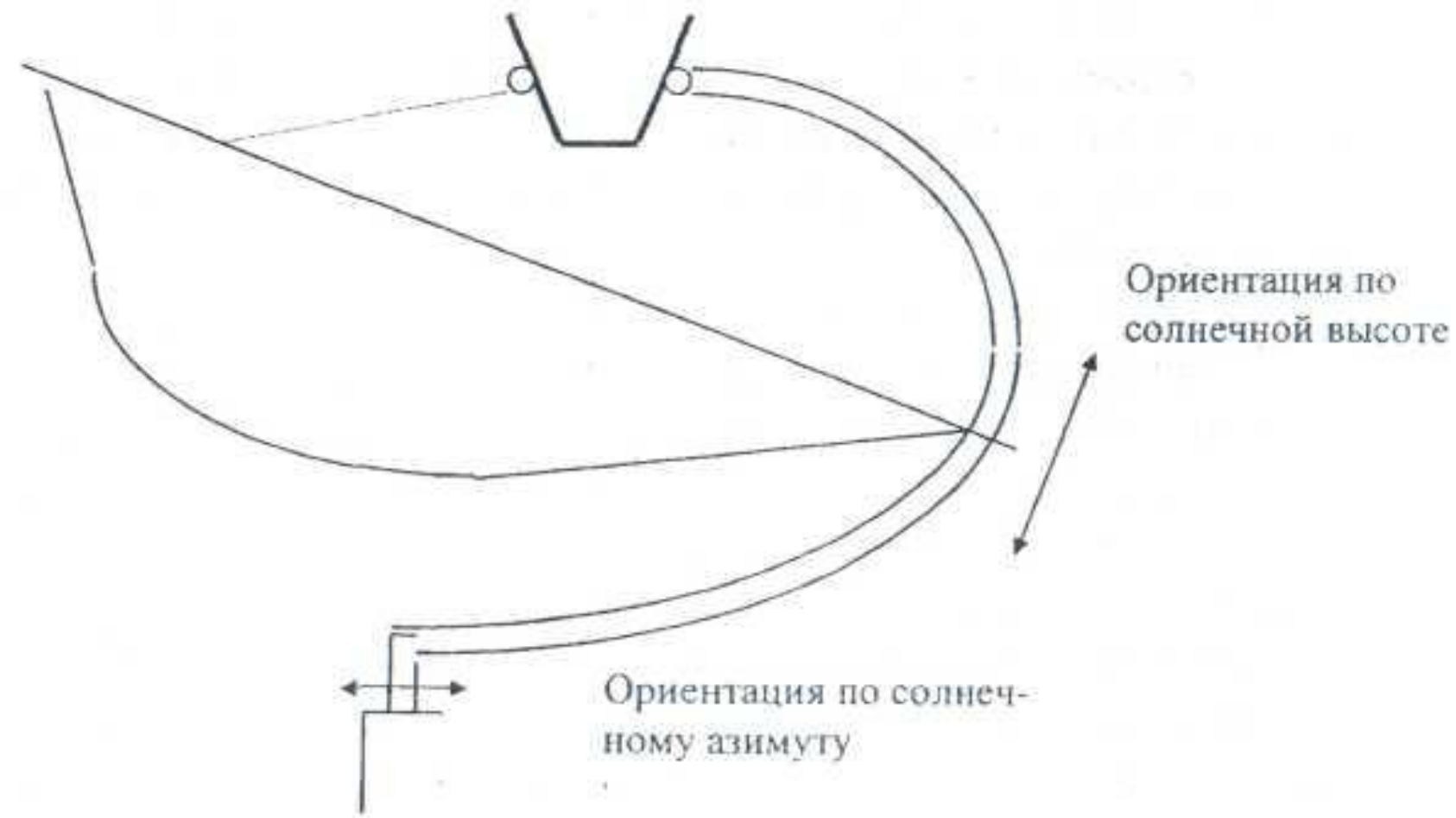
Строится экспериментальный дом с аналогичной охлаждающей системой, только вместо башни в нем применяется «солнечная труба», где расположены листы железа, окрашенные в черный цвет. Накаляясь, они создают встречный поток горячего воздуха. В 80-х годах в Испании у города Манзанарес (в долине ЛА-Манче, там где Дон-Кихот сражался с ветряными мельницами), был построен и испытан демонстрационный макет гелиоаэродинамической электростанции. Она представляет собой башню, вокруг которой размещены солнечные коллекторы и специальный турбогенератор. Принцип очень прост - в солнечном коллекторе, а это перекрытие из полимерной пленки, пропускающей солнечное излучение, и непрозрачной для инфракрасной лучей, испускаемых расположенной под ней земной поверхностью, возникает парниковый эффект (как в теплице). Воздух нагревается и в башне возникает мощный восходящий поток воздуха. При этом воздух вращает лопасти турбогенератора. Высота башни - 200 м, диаметр - 10 м, диаметр солнечного коллектора - 250 м, проектная мощность - 250 кВт. Оказывается, что уже при мощности 50 кВт такая электростанция является рентабельной. Рассматривается проект таких установок мощностью 100 мВт. Диаметр башни должен быть несколько сот метров, высота - километр, площадь солнечного коллектора несколько десятков квадратных километров но как всегда есть, но - солнце светит не всегда, да и располагать такую станцию надо в пустынных районах, где нет жилых поселений - нужны накопители энергии. Лучшим является водород. По-видимому, самым простым способом непосредственного применения солнечной энергии является приготовление пищи. Процесс, который всегда требует больших затрат энергии и человеческих усилий. Один из вариантов конструкции солнечной печи показан на рис

Такая простая печь быстро нагревается и позволяет приготовить пищу за несколько часов. Затраты энергии на приготовление пищи (около 300 Вт·ч/кг) обычно не превышают количества энергии, идущей на нагревание самой печи. Для более быстрого приготовления пищи и осуществления таких требующих высокой температуры процессов, как, например жарение, солнечные печи снабжаются параболическими рефлекторами





Конструкции, подобные изображенным на рис. 6, с диаметром зеркала около 1,5 м испытывали в различных частях земного шара. Эффективный коэффициент концентрации таких систем с краевым углом  $30^\circ$  С (даже при плохо обработанной поверхности зеркала) достигает 500-1000. В тропических условиях мощность, получаемая в фокусе такого устройства,



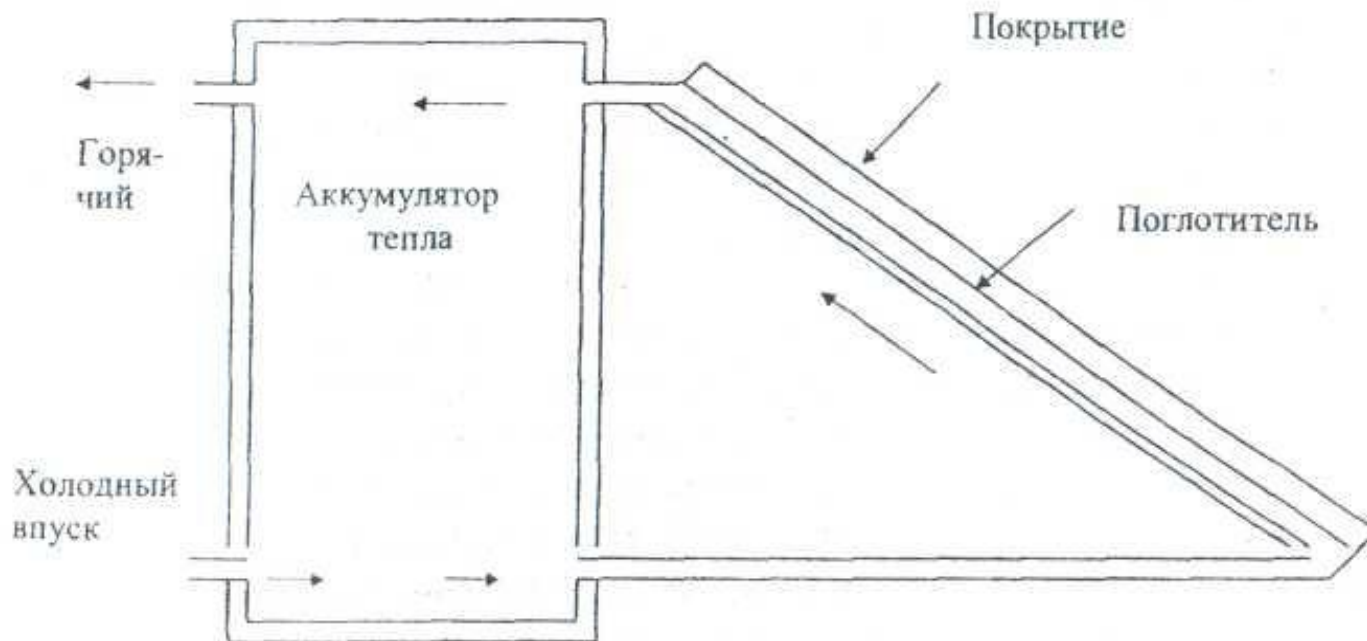
Тень, отбрасываемая на зеркало сосудом для приготовления пищи диаметром около 15 см, весьма незначительна, но, тем не менее, несколько раз в течение часа необходимо регулировать положение зеркала относительно солнца. Однако эта операция очень проста - она сводится к тому, чтобы поддерживать положение тени от сосуда в центре зеркала, и осуществление ее доступно как ребенку, так и старику. При использовании такого рода устройств для научных исследований ориентировку зеркал следует производить более тщательно. Для получения очень высоких температур обычно используют несколько больших параболических зеркал, установленных так, что они имеют общий фокус. В системах, состоящих из нескольких зеркал, дополнительно устанавливается плоское зеркало, так называемый гелиостат, с помощью которого следят за кажущимся движением Солнца и направляют солнечные лучи на неподвижные зеркала. Параболическое зеркало является здесь частью стационарного лабораторного устройства с фиксированным фокусом, которое позволяет проводить различные эксперименты, требующие высокой температуры. Такого рода исследования проводятся в лаборатории солнечной энергии Французского национального научно-исследовательского центра, расположенного в Западных Пиренеях вблизи границы с Испанией. В этой лаборатории с помощью солнечной печи с зеркалом диаметром около 1 Ом, установленной на горе Луис, впервые были проведены работы по очистке особо тугоплавких металлов. Теперь вместо этой лаборатории в районе Одейо создана новая печь, на которой установлено параболическое зеркало диаметром порядка 50 м. Оно изготовлено из 8000 небольших зеркал, каждое из которых имеет вогнутую форму. Формируя в фокальной плоскости изображение солнца в виде круга диаметром примерно 50 см, эта гигантская система обеспечивает мощность до 1200 кВт. Такая система позволяет производить очистку особо тугоплавких веществ в больших масштабах. Для нее были разработаны специальные вращающиеся тигли с водяным охлаждением, вмещающие одновременно сотни килограммов исследуемых материалов



# ОТОПЛЕНИЕ И ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ ЗДАНИЙ

Использование солнечной энергии для отопления и горячего водоснабжения школ, фабрик, больниц, жилых домов, для бытовых нужд и т.д. является одним из наиболее привлекательных способов ее применения. Системы горячего водоснабжения на основе плоского солнечного коллектора уже сейчас получили широкое распространение в Израиле и Японии, а на юге США и даже в Европе действуют довольно большие экспериментальные установки для отопления домов и нагрева воды в плавательных бассейнах. Рис. 7 поможет нам понять принцип действия солнечного водонагревателя. Находясь в контакте с поглотителем коллектора, вода нагревается и при помощи насоса или естественной циркуляции отводится от него. Затем жидкость поступает в хранилище, откуда ее потребляют по мере надобности, или в теплообменник, через который энергия передается теплоносителю. Подобное устройство напоминает системы бытового горячего водоснабжения с непосредственным или косвенным подогревом. Конструкция этих устройств может быть весьма

е из них



Чтобы определить, какое количество тепла жидкость получает от коллектора при различных температурах, воспользуемся следующим методом расчета. Рассмотрим плоский коллектор с однослойным покрытием и поглотителем, поглощательная способность которого для солнечного излучения равна 0,9. Напомним, что нейтральным мы называем поглотитель, имеющий при равновесной температуре коэффициент излучения, близкий к 1,0, тогда как у селективного поглотителя он составляет примерно 0,1. В обоих случаях будем считать, что стеклянное или пленочное покрытие коллектора непроницаемо для длинноволнового излучения. В результате расчета была определена потребность в энергии для водонагревательных систем школ, больниц и т.п. Установлено, что можно ежегодно получать около 1000 кВт/ч энергии. Ежегодная потребность в энергии для горячего водоснабжения больших больниц в странах тропического пояса в настоящее время составляет ориентировочно около 500 Мвт/ч. Таким образом, ее можно было бы относительно дешево удовлетворить с помощью плоского коллектора общей площадью 500 м<sup>2</sup>. Коллектор такого размера удобно разместить на крыше больницы, тогда для него не нужно будет отводить специального, места на земле; кроме того, подобное сооружение обеспечит тень вокруг здания больницы





# АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Аккумуляция тепла в любой водонагревательной системе позволяет приспособить ее к условиям меняющегося на протяжении суток спроса на горячую воду. Применение различных средств для накопления энергии при использовании солнечных энергетических установок дает возможность также преодолеть и другую трудность, связанную с непостоянством интенсивности солнечной энергии в течение суток. Как мы уже видели, даже в условиях безоблачного неба приемлемое количество энергии при подходящей температуре жидкости можно получать лишь в течение нескольких часов до и после полудня.

Более высокие температуры требуются лишь на короткие промежутки времени. Например, солнечные энергетические установки, предназначенные для отопления зданий, поддерживают температуру теплоносителя на уровне  $60^{\circ}\text{C}$  лишь около трех часов в сутки. Поскольку в подобных системах периоды потребления и получения энергии не совпадают, то очевидно, что ее нужно накапливать в течение суток, чтобы затем отбирать при подходящей температуре. В развитых странах с похожим на английский климатом в зимнее время средний ежесуточный расход энергии на горячее водоснабжение и отопление жилых домов оценивается в 15 и 150 кВт·ч соответственно.

# ДОМ ЛОВИНСА

Существует опыт комплексного использования энергии солнца. Наиболее интересным является дом, построенный в США, называемый домом Ловинса. Институт Скалистых гор в штате Колорадо (США) состоит из 20 человек. Основные проблемы, решаемые институтом: эффективное использование энергии, предотвращение кризиса водных ресурсов, улучшение экономической ситуации в сельских районах и др.

Горячая вода получается под действием солнечной радиации и хранится в специальных резервуарах. Вместо обычных ламп применяются флуоресцентные мощностью 8 Вт, причем световой поток от них такой же, как и от обычной лампы в 75 Вт. Стоит 1 лампочка 17 долларов, а весь дом 700 тыс. долларов, но и служит в несколько раз дольше. Холодильник и морозильник расходуют в 6 раз меньше энергии, чем обычные, душ и туалет - на 90% меньше воды. В целом на одного человека расходуется только 10% от той электроэнергии, которая расходуется в обычном доме и 30% от используемой воды. Оказывается, что дополнительные затраты приводят к существенной экономии и окупаются в течение года



# РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

История ветроэнергетики берет свое начало в далеком прошлом, уже около шести тысяч лет ветроэнергетика находится на службе у человека. Древние греки были уверены, что Прометей не только подарил людям огонь, но и научил пользоваться парусом.

Из истории ветроэнергетики мы видим, что до того момента, как человек изобрел паровую машину, единственным источником энергии был ветер. Не одно столетие при помощи ветра парусные торговые и военные корабли совершали свои походы, благодаря энергии ветра вращались крылья мельниц.

Самые примитивные ветряные двигатели использовали еще в древнем Египте и древнем Китае. История ветроэнергетики гласит, что в Египте можно увидеть развалины ветряных мельниц, изготовленных из камня, так называемого барабанного типа, которые были созданы еще во вторых первых веках до нашей эры. В седьмом веке нашей эры, а Персии были сооружены более современные ветряные мельницы с крыльями. Некоторое время спустя ветряные мельницы стали появляться в Европе и на Руси. Западная Европа в тринадцатом веке активно стала применять энергию ветра, создавая ветряные двигатели, которые использовались для помола зерна, для подъема воды, ветровые двигатели также использовались для работы станков.

Европа шестнадцатого века начинает осваивать водоносные станции, которые приводились в работу, согласно истории ветроэнергетики, при помощи гидродвигателя и ветровой мельницы. В тех регионах Европы, где царствовала засуха, применялась ветроэнергетика посредством мельниц, которые использовались для полива полей.

По сохранным историей ветроэнергетики данным, экономический подъем Голландии стал возможным благодаря активному использованию ветроэнергетики. Вначале ветродвигатели применяли для того, чтобы осушать участки земли, забранные у моря, а потом ветроэнергетика пришла на помощь лесопилкам и другим видам производств. На то время Голландия была одной из обеспеченных энергоресурсами стран

# УСЛОВИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

В отличие от ресурсов традиционных жидких и твердых топлив на «добычу» и транспортирование энергии ветра затраты не производятся. Поэтому часто говорят, что ветер является «даровым» энергетическим источником. Отсюда у некоторых складывается мнение, что энергия, получаемая с помощью ветродвигателя, во всех случаях дешевая и даже практически тоже «даровая». Естественно, что это далеко не так. Нужно очень хорошо знать условия, чтобы определить, где и для каких целей выгодно использовать энергию ветра и когда целесообразнее и экономичнее применить энергетические установки других топов. При этом необходимо наиболее полно учесть требования потребителей, особенности ветра как энергоисточника, режимы работы ветроустановки и качество производимой энергии. Только комплексное рассмотрение всех факторов дает объективные результаты, на основании которых можно судить об экономической целесообразности и технических возможностях применения в конкретных условиях той или иной ветроэнергетической установки. Ветер является случайным неуправляемым природным процессом, вызванным действием Солнца и вращением Земли



# ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВЕТРА

---

Ветер в приземном слое образуется вследствие неравномерного нагрева земной поверхности Солнцем. Поскольку поверхность Земли неоднородна, то даже на одной и той же широте суша и водные пространства, горы и лесные массивы, пустыни и болотистые низины нагреваются по-разному. В течение дня над морями и океанами воздух остается сравнительно холодным, поскольку значительная часть энергии солнечного излучения расходуется на испарение воды или поглощается ею. Над сушей воздух прогревается больше, расширяется, снижает свою массовую плотность и устремляется в более высокие слои над землей. Его замещают более холодные, а следовательно, более плотные воздушные массы, располагавшиеся над водными пространствами, что и приводит к возникновению ветра как направленному перемещению больших масс воздуха. Эти местные ветры, образующиеся в прибрежных зонах, носят название бризов. Годовые изменения температуры в береговых районах больших морей и океанов вызывают циркуляцию более крупного масштаба, чем бризы, называемые муссонами. Они делятся на морские и материковые, отличаются, как правило, большими скоростями и в течении ночи меняют свое направление. Аналогичные процессы происходят в гористых местах и долинах вследствие разных уровней нагрева экваториальных зон и полюсов Земли и многих других факторов

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

## ВЕТРА

Ветер является одним из наиболее мощных энергетических источников, который издавна используется человеком, и при благоприятных условиях может быть использован в интересах народного хозяйства в значительно больших масштабах, чем это имеет место в настоящее время. По ориентировочным оценкам, энергия, которая непрерывно поступает от Солнца, соответствует суммарной мощности, превышающей 1011 ГВт. Это определяет возможную годовую выработку энергии ветроагрегатами, равную  $1,18 \times 10^{13}$  кВт. ч, что во много раз превышает количество энергии, потребляемой сегодня в мире. По оценкам МИРЭК, ежегодно в мире потребляется около 13 млрд. т условного топлива. В развитых странах потребление достигло 0,6 т условного топлива в год на одного человека, в развивающихся - в 3 раза меньше.

Энергетические установки обычно используют ветер в приземном слое на высоте до 50-70 м, реже - до 100 м от поверхности Земли, поэтому наибольший интерес представляют характеристики движения воздушных потоков именно в этом слое. В дальнейшем, по мере создания соответствующих технических средств, могут оказаться практически ценными также струйные течения, характерные для тропопаузы. Важнейшей характеристикой, определяющей энергетическую ценность ветра, является его скорость. В силу ряда метеорологических факторов (возмущения атмосферы, изменения солнечной активности, количества тепловой энергии, поступающей на Землю, и других причин), а также вследствие влияния рельефных условий непрерывная длительность ветра в данной местности, его скорость и направление изменяются по случайному закону. Поэтому мощность, которую может вырабатывать ветроустановка в различные периоды времени, удается предсказывать с очень малой вероятностью. В то же время суммарную выработку агрегата, особенно за длительный промежуток времени, можно рассчитать с высоким уровнем достоверности, так как средняя скорость ветра и частота распределения скоростей в течение года или сезона изменяются мало



# ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КАДАСТР

Важнейшими кадастровыми характеристиками являются повторяемость (плотности распределения) скоростей, чередование рабочих и штилевых периодов, режимы максимальных (буревых) скоростей. Значения  $V_r$  и  $V_{сез}$  являются важными и удобными кадастровыми характеристиками общего уровня интенсивности ветра, но они еще не определяют в полной мере возможности и эффективность ветроустановок. В кадастре сведения о ветре представляют обычно в виде статистических закономерностей, в табличной или графической форме, пользуясь материалами многолетних наблюдений на метеостанциях, а также данными специальных анеморазведок.

Для наиболее полного математического описания изменений интенсивности ветра во времени используют модель случайного процесса, отражающую тенденции сезонной изменчивости ветра и случайные вариации его скоростей

# РЕСУРСЫ ВЕТРА И ВЕТРОВЫЕ

## ЗОНЫ

Примерно до середины 60-х годов в литературе нередко приводились данные об энергии ветра, которую можно получить с 1 кв. км земной поверхности или с какой-либо территории. Так, подсчитана потенциально возможная суммарная установленная мощность ветроэнергетических агрегатов по России (около 11 млрд. кВт) и ежегодная выработка ими энергии (более  $1,8 \times 10^{13}$  кВт. ч) при полном использовании всех ресурсов. По А. Паркеру потенциальная годовая энергия, которая может быть получена посредством ветроагрегатов со всей поверхности Земли, равна  $13 \cdot 10^{12}$  кВт. ч. Практически автор считает возможным использовать не более 10-20%, указывая, что увеличение этих значений зависит от наличия аккумулирующих устройств с большой энергоемкостью или потребителей, способных эффективно использовать изменяющуюся мощность при значительных ее флуктуациях, в том числе и максимальную (например: ночью при сильном ветре, в периоды, когда нет другой нагрузки, и др.).

В последнее десятилетие многие авторы справедливо указывают, что специфика ветра как энергетического источника, характер и техника его использования делают подобные расчеты и приводимые цифры в некоторой мере абстрактными, которые не всегда могут быть реализованы на практике. Безусловно, потенциальные возможности использования энергии ветра во многих зонах практически не ограничены. Однако они постоянно изменяются в зависимости от уровня совершенства и характеристик технических средств, утилизирующих энергию тех высот, на которые можно проникнуть с новыми ветродвигателями, от изменения структуры общего энергетического баланса в стране, экономических критериев и показателей, в ряде случаев даже конъюнктуры, как внутренней, так и внешней



Пункт	Высота расположения флюгера от поверхно- сти, м	Среднемесячные и среднегодовые скорости на высоте флюгера, м/с						Среднего- довые ско- рости на высоте, м/с	
		1	2	4	5	7	10	5	10
		Актюбинск	7	4,3	3,8	4,5	4,1	3,7	4,1
Владивосток	10	7,9	7,3	7,4	6,8	5,5	5,6	5,9	6,6
Воронеж	11	4,1	4,1	3,7	3,5	2,8	3,5	4,1	3,5
Горький	14	3,5	3,6	3,3	3,1	2,6	3,8	2,9	3,2
Днепропетровск	11	5,5	6,0	5,2	4,6	3,6	4,3	4,4	4,7
Донецк	10	6,2	6,7	5,4	4,6	3,6	4,3	4,5	5,0
Иркутск	14	1,8	2,3	2,9	2,8	2,1	2,3	1,8	2,1
Казань	11	4,1	4,5	4,1	4,0	3,3	4,5	3,6	4,0
Караганда	14	4,6	4,7	4,8	4,9	3,8	4,4	3,8	4,2
Киев	17	2,7	2,9	2,6	2,3	2,1	2,1	2,4	2,5
Красноярск	11	3,1	2,7	3,1	2,7	1,8	2,8	2,3	3,0
Курган	11	4,8	4,9	4,4	4,2	3,4	4,1	3,7	4,2
Магадан	12	3,3	2,9	3,5	3,2	2,6	2,9	2,7	3,1
Минск	11	3,9	4,1	3,4	3,0	3,1	3,5	3,0	3,4
Мурманск	14	6,6	6,1	4,9	4,4	4,2	5,5	4,1	4,9
Мин. воды	14	3,7	3,9	4,2	3,7	3,2	3,2	3,0	3,4
Новосибирск	18	4,4	4,5	4,2	3,9	2,6	4,4	3,4	3,6

# ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ

За последние 25-30 лет ветроэнергетические технологии претерпели существенные изменения. К 2010 г. ВЭУ достигли размеров высоты башни 135 метров и диаметра ветроколеса 127 метров (Enercon E-126/7,5 МВт) против 25-30 и 20 соответственно в конце 80-х годов. Однако только 2 компании – REpower и Enercon в настоящее время выпускают ВЭУ мощностью 5 и 6 МВт соответственно, испытания и доработки более мощных ВЭУ этими фирмами продолжаются. Тем не менее, все производители ВЭУ ведут активную работу в этом же направлении. Так, Vestas разрабатывает офшорную ВЭУ мощностью 4 МВт, Gamesa мощностью 5 МВт, Clipper – 7,5 МВт. Таким образом, четко прослеживается тенденция к увеличению мощности ВЭУ, при чем не только офшорных, но и установленных на суше

Диапазон мощности	2006 г.	2007 г.	2008 г.
<0,75 МВт	2,4%	1,3%	0,5%
0,75- 1,499 МВт	31,0%	29,8%	13,1%
1,5-2,5 МВт	62,2%	63,7%	80,4%
>2,5 МВт	4,3%	5,3%	6,0%
Всего	100%	100%	100%



Ведущими компаниями в ветроэнергетике являются Vestas, GE Wind, Gamesa, Enercon и Siemens, на них приходится 67% установленных в мире ВЭУ. Однако очень быстрыми темпами развиваются относительно молодые компании, такие как Suzlon, Sinovel, Goldwind и Dongfang Turbine. В 2009г. около 30% ВЭУ было построено ими

№	Компания	Установлено в 2009г., ГВт	%	Установлено всего, ГВт	%
1	Vestas	4,766	12,9%	39,705	23,6%
2	GE Wind	4,741	12,8%	22,931	13,6%
3	Sinovel	3,510	9,5%	5,658	3,4%
4	Enercon	3,221	8,7%	19,738	11,7%
5	Goldwind	2,727	7,4%	5,315	3,2%
6	Gamesa	2,546	6,9%	19,225	11,4%
7	Dongfang	2,475	6,7%	3,765	2,2%
8	Suzlon	2,421	6,5%	9,671	5,7%
9	Siemens	2,265	6,1%	11,213	6,7%
10	REpower	1,297	3,5%	4,894	2,9%
Другие компании		7,034	19,0%	26,331	15,6%
Всего		37,003	100,0%	168,446	100,0%
Из них ведущие		29,969	81,0%	142,115	84,4%

# ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СОВРЕМЕННЫХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Множество существующих типов ВЭУ допускает различные классификации. Однако общепринято делить современные ВЭУ на горизонтально-осевые и вертикально-осевые.

ВЭУ с горизонтальной осью вращения ветроколеса позволяют утилизировать большую часть энергии ветрового потока и, соответственно, более эффективны в энергетическом отношении. Благодаря этому они получили преобладающее распространение в мире в настоящее время и занимают более 98% рынка современных ВЭУ. Основные элементы современной ВЭУ с горизонтальной осью вращения приведены на рис.5.4.

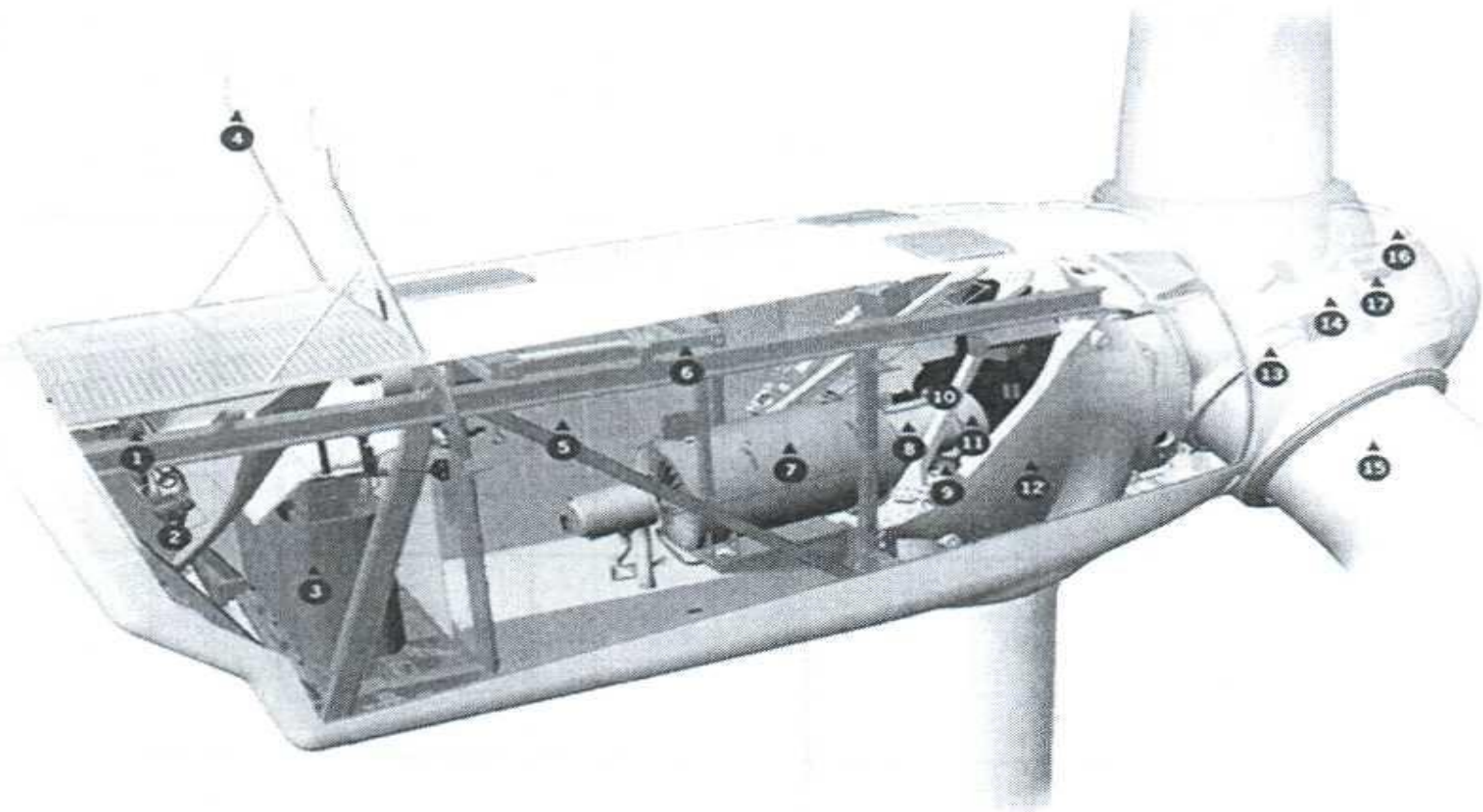
В отечественной и зарубежной литературе в полном объеме предоставлена информация об основных элементах как вертикальных, так и горизонтальных ВЭУ, их достоинствах, недостатках и особенностях. Поэтому подробно стоит остановиться только на системе контроля скорости, мощности и современных генераторах, которые в настоящий момент активно применяются



1 - масляной радиатор; 2 - радиатор генератора; 3 - трансформатор; 4 - датчики ветра; 5 - система контроля; 6 - кран; 7 - генератор; 8 - муфта сцепления; 9 - поворотный механизм; 10 - редуктор; 11 - тормозная система; 12 - основание гондолы; 13 - крепление лопастей; 14 - ось лопастей; 15 - лопасть; 16 - кок; 17 - контроллер оси.

Преимуществами такой схемы являются лучшая энергетическая эффективность и широкий контроль параметров электроэнергии, а недостатками - увеличение сложности системы, ее стоимости и потери в преобразователе мощности, которые редко указываются производителями оборудования.

ВЭУ разрабатываются с различными видами контроля мощности. Самым простым, надежным и дешевым способом является пассивный контроль («stall control»), основанный на использовании аэродинамического эффекта (лопасть при этом жестко закреплена на роторе ветроколеса). При скоростях обтекания, больших расчетных и при определенных углах атаки аэродинамическое



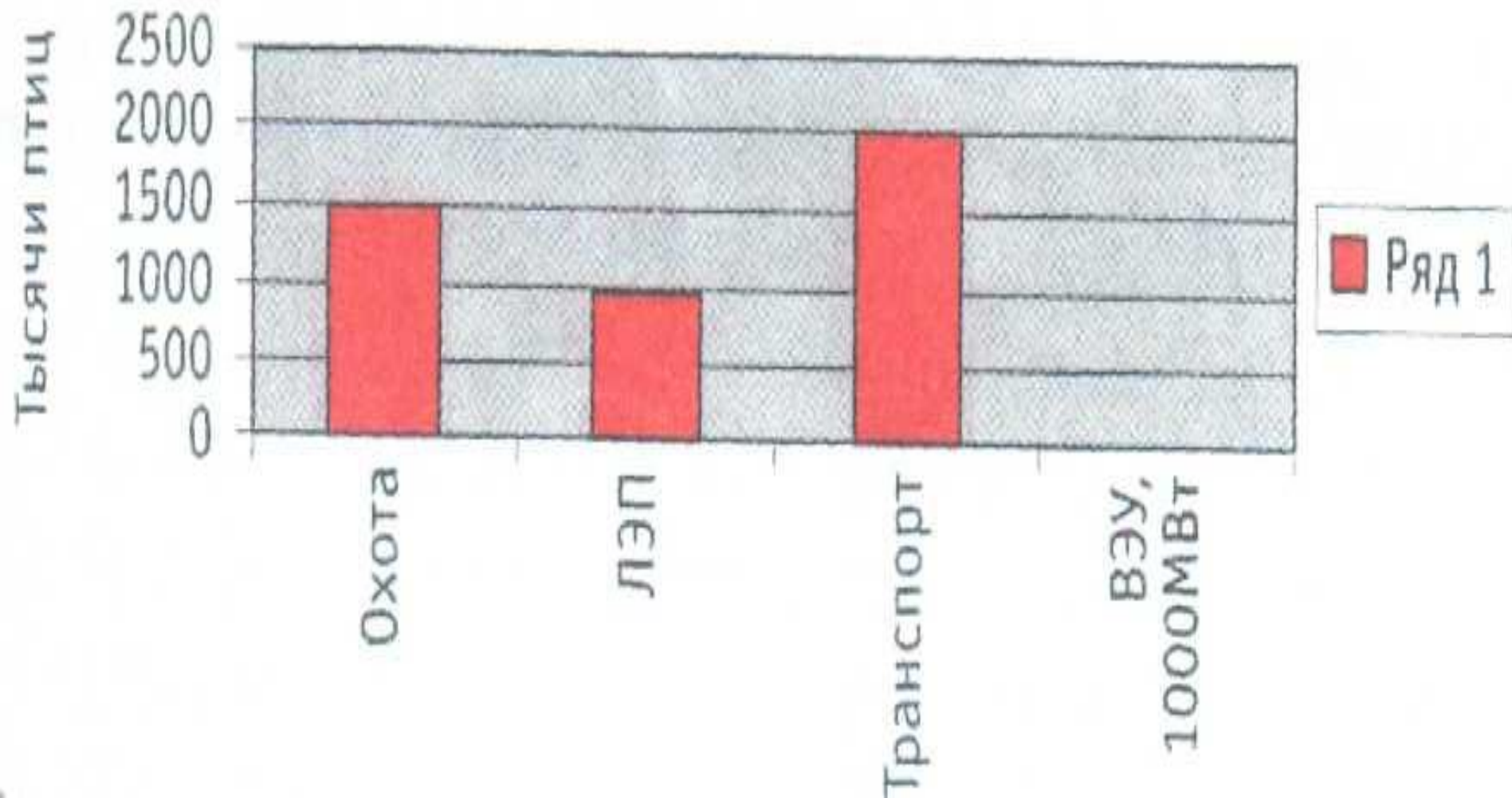
# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Какое влияние оказывают ВЭУ на окружающую среду, животных (в первую очередь птиц) и человека. Это пытались выяснить давно, и чего только не написано. Так в учебнике «Экономика предприятий энергетического комплекса» (авт. Самсонова В.С., Вяткина М.А. - М.: «Высшая школа», 2001 г.) написано, что установленные на побережье Флориды (США) мощные ветряки при скорости ветра  $v=3\text{ м}$  генерируют излучение неслышимого инфразвука, который удручающе действует на человека, резонирует с естественными колебаниями так, что на расстоянии нескольких км дрожат и лопаются стекла в домах, стеклянная посуда, люстры; а уменьшение диаметра не привело к положительным результатам - ну как Вам это нравится. А реально диаметр увеличили и тысячи ветряков стоят и в США и в Германии и в других странах, только, увы, не в России. А ТВ г. Мурманска серьезно сообщило, что применение ВЭУ в области неэффективно (там установили одну ВЭУ  $N=200\text{ кВт}$ ) из-за того, что мошкара и комары облепляют лопасти, аэродинамические качества их снижаются вплоть до полной непригодности ВЭУ



# ОЦЕНКА ЕЖЕГОДНОЙ СМЕРТНОСТИ ПТИЦ

Оценка ежегодной смертности птиц, в тыс.



# УРОВЕНЬ ШУМА В СРАВНЕНИИ С ШУМОМ ОТ ВЭУ

Болевой порог человеческого слуха	140
Шум турбин реактивного двигателя на удалении 250м	105
Шум от отбойного молотка в 7 м (на расстоянии)	95
Шум от грузовика при скорости движения 48 км/ч на удалении от него в 100м	65
Общий шумовой фон в офисе	60
Шум от легковой автомашины при скорости 64 км/ч	55
Шум от ветрофермы в 350 м от нее	35-40
Шумовой фон в тихой спальне	20
Шумовой фон ночью в деревне	20-40
Порог слышимости для человеческого слуха	0



## Но и что положительного.

Эффективность использования ВЭУ включает в себя:  
экономия топлива. При введении их в эксплуатацию (ВЭУ, ветропарка) в составе энергосистемы.

вытеснение менее эффективных и более дорогих генерирующих мощностей при сохранении уровня надежности энергоснабжения.

Уменьшение вредных выбросов от энергетических объектов в среду

Технология выработки энергии	Удельный показатель площади земельного участка, требующейся для производства 1ГВт. ч. за 30 лет (м <sup>2</sup> )
Геотермальный источник	404
Энергия ветра	800-1335
Солнечные элементы на полупроводниках	3227
Пассивный солнечный нагрев	3561
Уголь	3642