

**«Современное состояние и
тенденции развития мировой
ветроэнергетики и ветроэнергетики
России»**

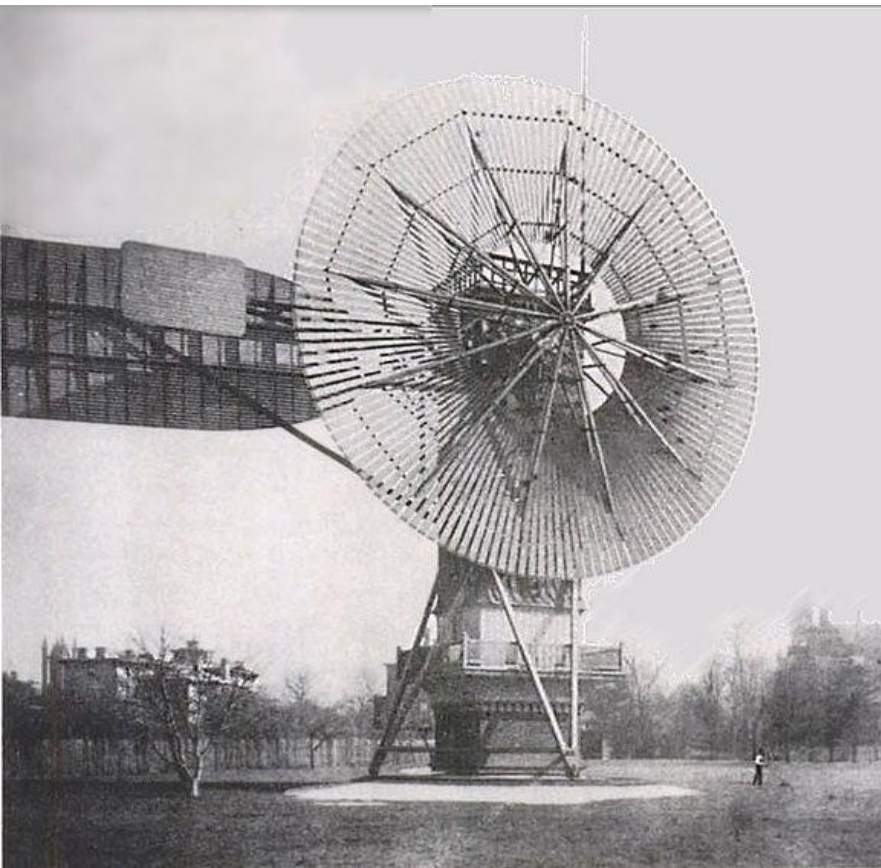


Содержание:

- 1. Состояние современной мировой ветроэнергетики.**
- 2. Современное состояние ветроэнергетики в России.**
- 3. Тенденции развития мировой ветроэнергетики.**



История



- Первая ВЭУ была построена в 1888 г. в США в г. Кливленд
- В 1908 г. было смонтировано уже 72 ветроэнергетические установки от 5 до 25 кВт.

была 18 м высотой, имела массу 3,6 тонны и приводила в движение 12-киловаттный генератор.

Динамика мировых инвестиций в ВИЭ и суммарной установленной мощности разных видов генераторов ВИЭ с 2004 г по 2016 г.

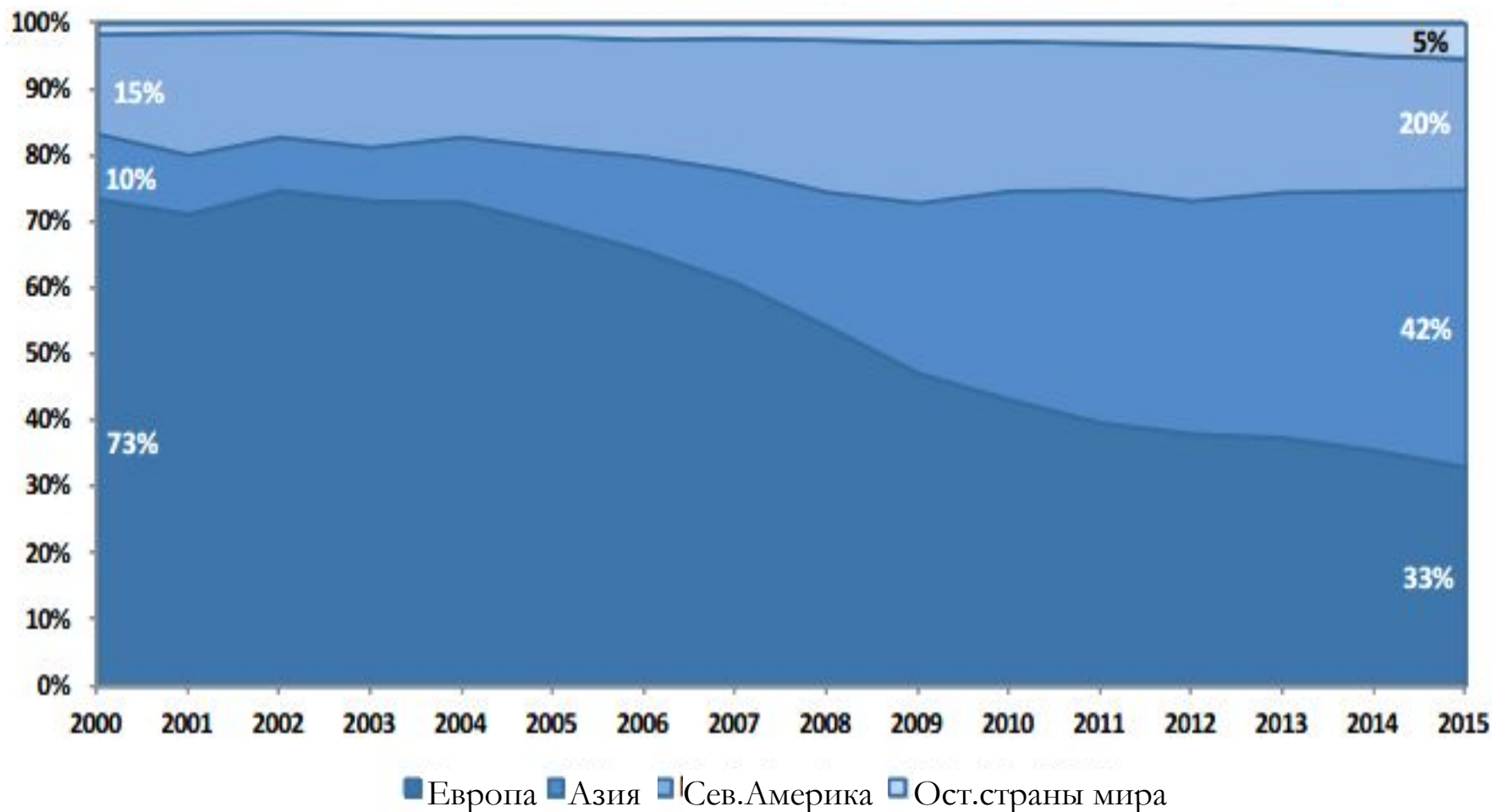
Год	2004 г.	начало 2015 г.	начало 2016 г.
Инвестиции, млрд.долл.	45	270	329
Мощность всех ВИЭ (без учета ГЭС), ГВт	85	665	785,9
Фотоэлектричество, ГВт	3,7	177	227
Тепловые СЭС, ГВт	0,4	3,4	4,4
Ветроэнергетика, ГВт	48	360	433
Биоэнергетика, ГВт	36	93	99
Геотермальная	8,9	12,8	12,9

Суммарные установленные мощности генераторов ВИЭ в мире на январь 2016 г.

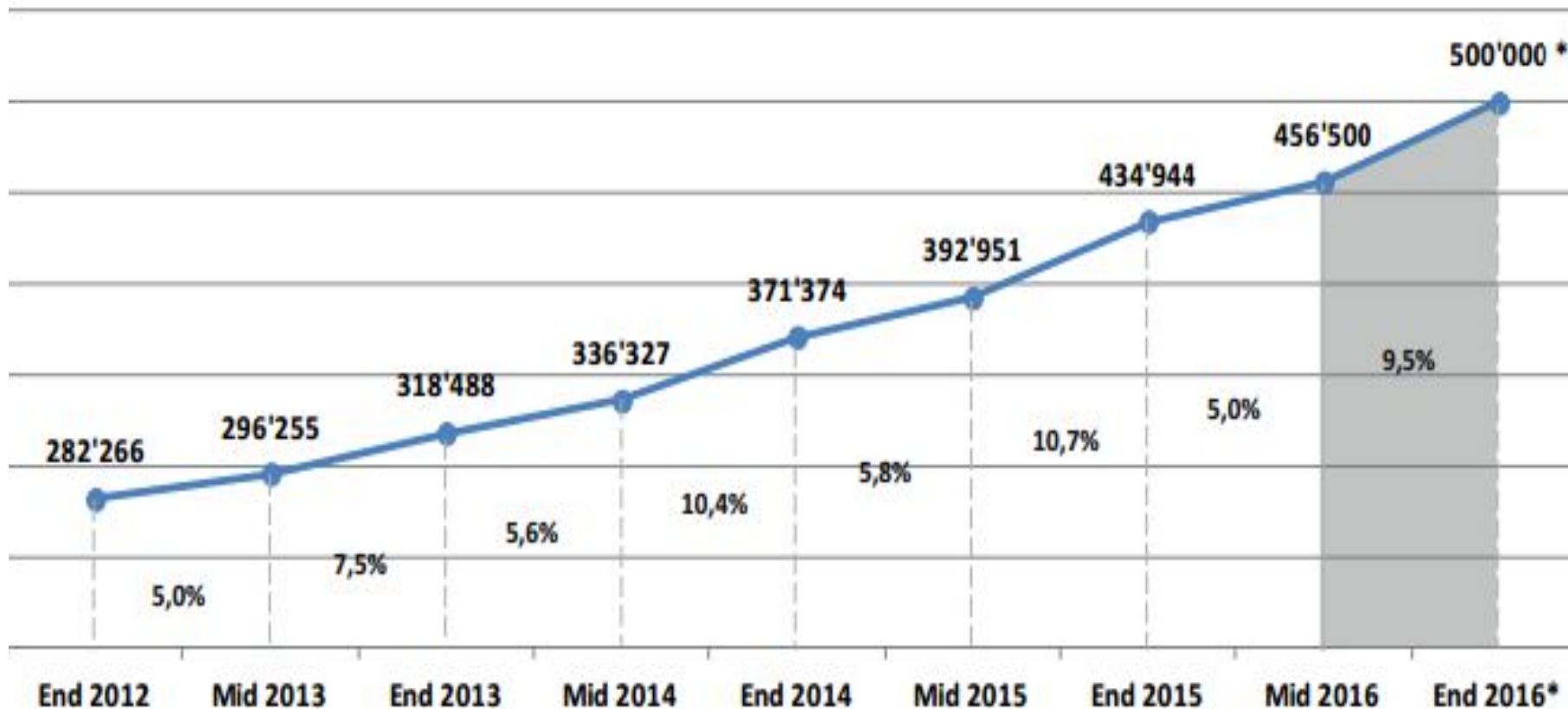


Доля генерации энергии от установок на базе ВИЭ (с учетом ГЭС) от годового энергопотребления в мире на начало 2016 составила 23,7%

Доли суммарной установленной мощности ВЭУ за 2000 – 2015 годы

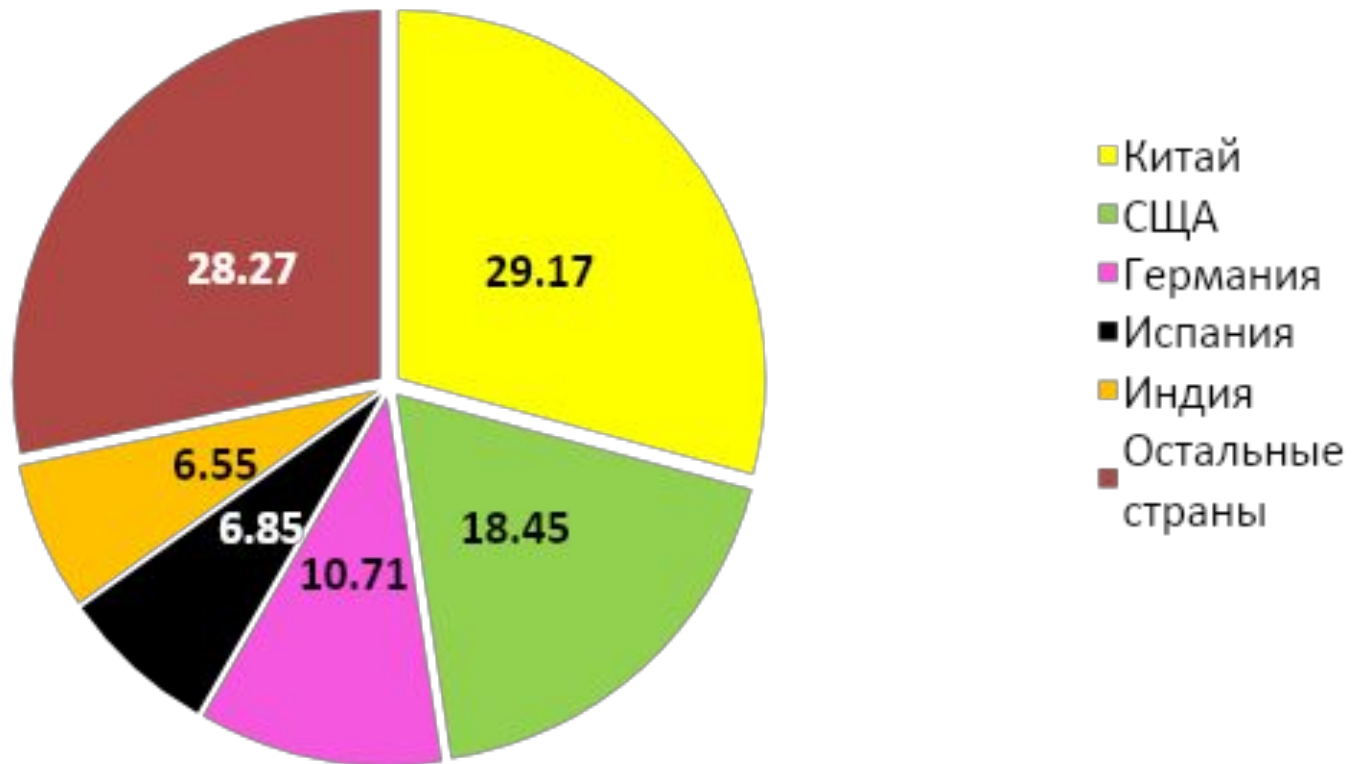


Динамика суммарной установленной мощности ВЭС в мире



Доли в общемировой мощности ВЭС в пяти ведущих странах мира на июль 2016 г.

г.





На начало 2017 года

327 крупных предприятий занято в производстве малых ВЭУ:

- 74% - производят ВЭУ с горизонтальной осью вращения;
- 18% - производят ВЭУ с вертикальной осью вращения;
- 8% - ВЭУ с горизонтальной и вертикальной осью вращения .

Более 50 % малых ВЭУ производятся в 5 странах мира:

**Китай, США, Канада, Германия,
Великобритания**

Средняя стоимость за 1 кВт установленной мощности малых ВЭУ:

- **До 2,5 кВт – 8200 \$/кВт**
- **2-10 кВт - 7200 \$/кВт**
- **11-100 кВт - 6000 \$/кВт**

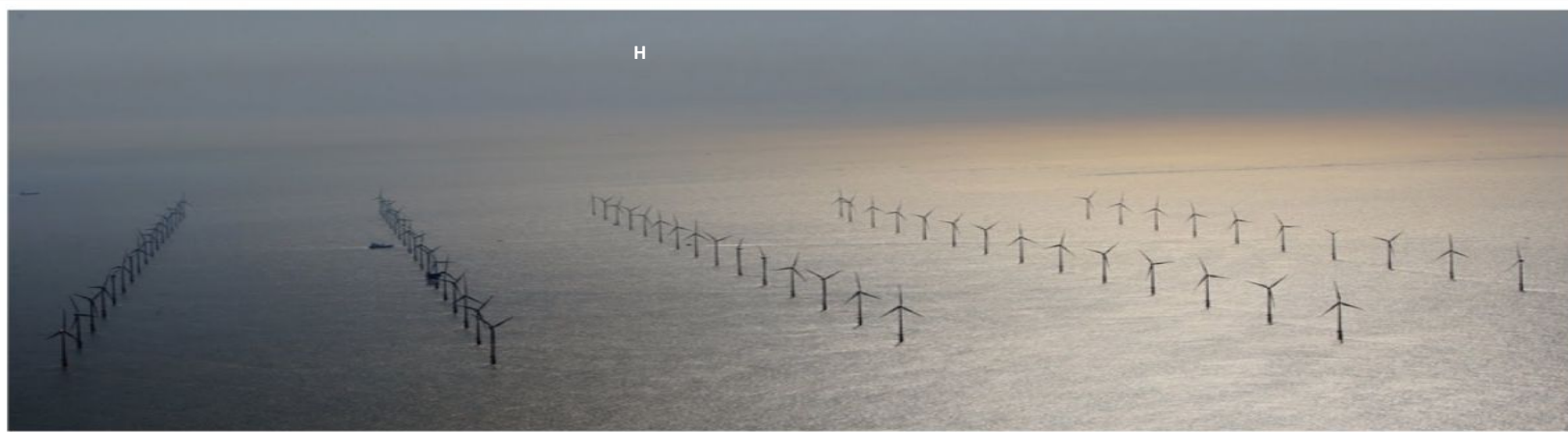
Оффшорные ВЭС

В прибрежных районах ветровые потоки более стабильны, чем на суше. Это позволяет увеличивать эффективность использования установленной мощности до 30%.

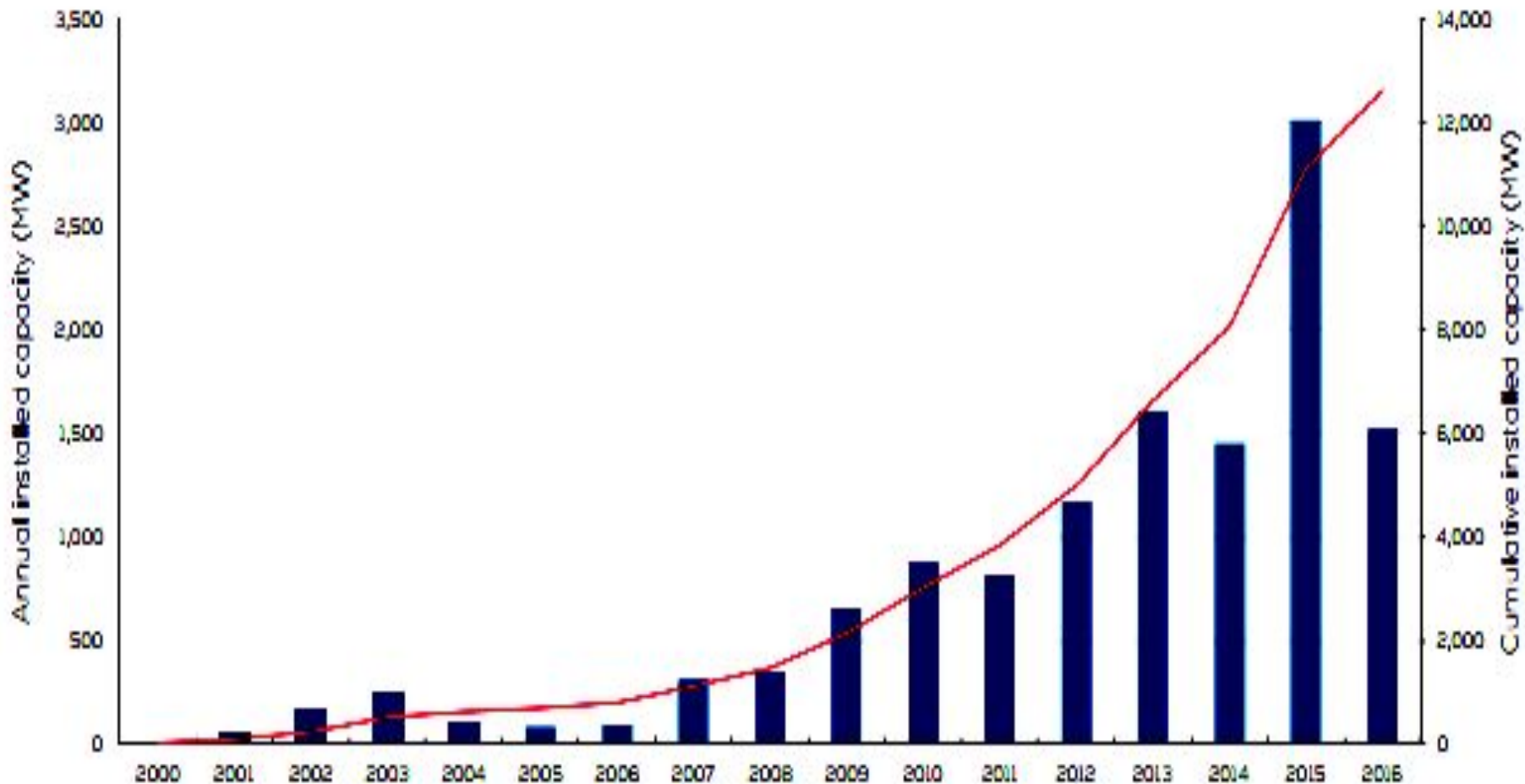
Суммарная мощность оффшорных ВЭС

в мире на январь 2017 г. около 14 ГВт:
(около 3% от суммарной мощности всех ВЭС в мире):

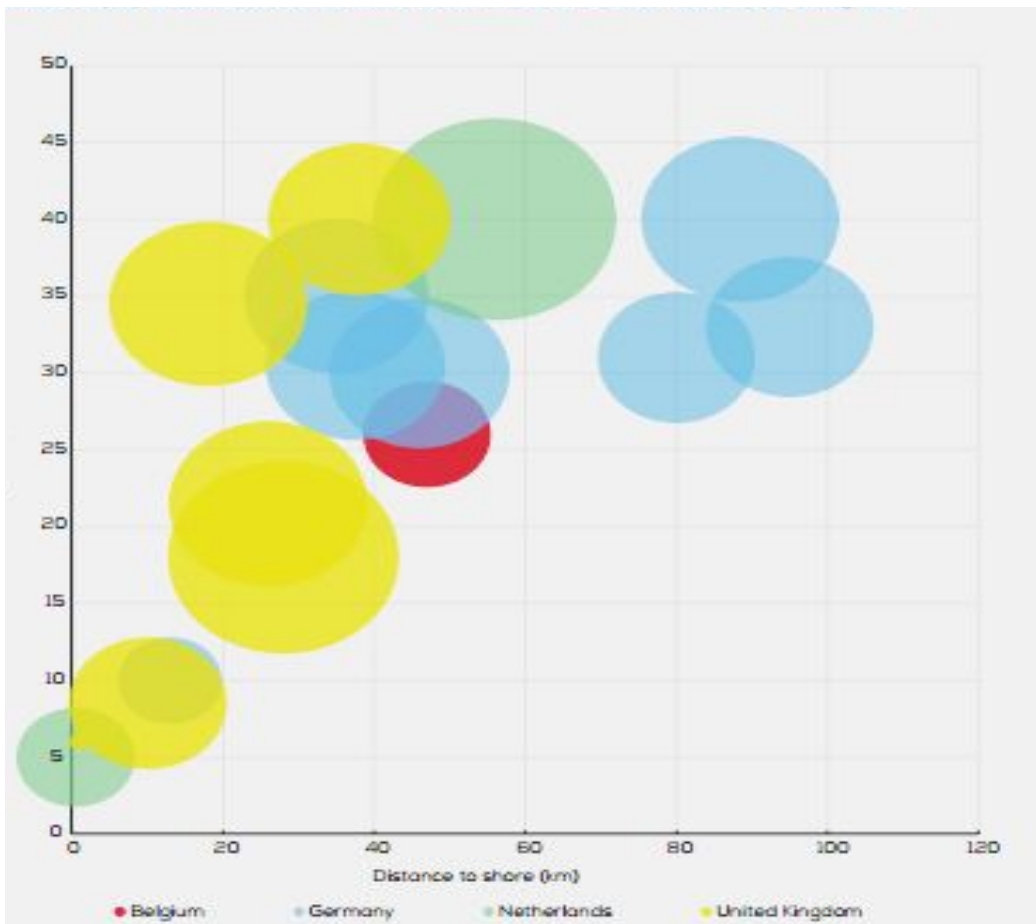
92% - Европе,
6 % Китай;
1% Япония;
1% - другие страны.



Динамика ввода мощности и суммарные мощности оффшорной ветроэнергетики



Глубина воды, расстояние до берега для оффшорных ВЭУ в разных странах Европы, построенных в 2016 г.



В 2016 г. (2015 г):

-средняя глубина воды - 29,2 м (27,2 м) ;

- среднее расстояние до берега - 43,5 км (43,3 км)

Расположение оффшорных ВЭС:

Северное море -72% (9099 МВт)

Ирландское море – 16,4% (2689 МВт)

Балтийское море – 11,5% (1457 МВт)

Атлантический океан – 0,04% (5 МВт)

Основные тенденции развития ВЭУ в мире:

- рост единичной установленной мощности, рост диаметра ротора ветроколеса и высоты башни;
- снижение стоимости ВЭУ (2010-2012 гг – 25%) и себестоимости электроэнергии от ВЭУ (2009 г-2015 г. на 11%);
- увеличение срока службы;
- комплексные услуги (монтаж + сервис), снижение затрат на сервисное обслуживание;
- рост «технического» коэффициента использования установленной мощности $K_{иум}$ (+1% в год);
- безредукторные технологии;
- участие ВЭУ в регулировании качества электрической энергии.

Удельные капиталовложения в современные традиционные ЭС в России и зарубежные ВЭУ

Тип электрической станции	Удельные капиталовложения, \$/кВт
<p style="text-align: center;">АЭС (без учета стоимости хранилищ)</p>	2000-2500
<p style="text-align: center;">ТЭС (парогазовый цикл) <i>Последние построенные в России:</i> Северо-Западная (Санкт-Петербург) Сочинская Белгородская</p>	<p>1000-2500</p> <p>1500</p> <p>2500</p> <p>1200</p>
<p style="text-align: center;">ГЭС (зависит от строительства водохранилища)</p>	800-1200
<p style="text-align: center;">ВЭУ береговые морские</p>	<p>1000-1200</p> <p>1800-2000</p>



Крупнейшие ВЭС мира «Ганьсу» (Китай)

на начало 2016 г. 7965 МВт

Планируемый рост мощности
составляет — 5,16 ГВт к 2010
году, 12,71 ГВт к 2017 и 20 ГВт к
2020 году.



«Муппандал» (Индия)

Мощность: 1500 МВт

Ввод в 2011 году

10 самых крупных моделей ВЭУ



Enercon E126 7.5MW



Монтаж E126 7.5MW

№	Производитель (фирма)	Модель ВЭУ	Страна	Мощность, МВт	Диаметр РК, м	Высота башни, м	Год ввода
1	Vestas	V164/8000	Дания	8	160	164	2014
2	Enercon	E126 7.5MW	Германия	7,5	126	135	2007
3	Samsung	S7.0 171 7MW	Южная Корея	7	171	80	2014
4	Repower	6M	Германия	6,2	126	85-95	2009
5	Siemens	SWT-6.0-1 54	Германия	6	154	-	2012
6	Sinovel	SL6000	Китай	6	128	80-90	2011
7	Alstom	Haliade	Франция	6	150	100	2013
8	Areva	M5000	Франция	5	135	-	2011
9	Bard	5MW	Германия	5	122	90	2010
10	Gemesa	G5MW	Испания	5	128	80-95	2013

<https://youtu.be/uJBFAAJXH4c>

Современное состояние ветроэнергетики в России

- **Суммарная мощность ВЭС:**
 - *16,8 МВт (по данным WWEA за 2014 год)*
 - *10,9 МВт (по данным системного администратора на июль 2016 г. без ВЭС Крыма)*

столько устанавливается в мире каждые 5 - 6 часов.

- **Россия занимает 69 место по установленной мощности ВЭС в мире на 2015 г. (0,005% от установленной мощности ВЭС в мире)**

(среди 103 стран, занимающихся разработками ВЭУ после таких стран, как Колумбия, Эквадор.)

- **Производство ВЭУ до 30 кВт**

СОСТОЯНИЕ РОССИЙСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ В ЧАСТИ РАЗВИТИЯ ВИЭ

		Отечественное производство		Зарубежное производство 70%	
ВИЭ	Солнце*	50%	Проектирование, оборудование, СМР, производство кремния*	50%	Производство кремния солнечного качества и фотоэлектрических элементов
	Ветер	20%	Проектирование общестроительные работы	70%	Основное оборудование (генераторы, мультипликаторы, гондолы, лопасти),
	Вода	60%	Все этапы проектирования и строительства	30%	Турбины (частично)
	Приливы	70%	Проектирование, изготовление оборудования, СМР	30%	Сухие доки для производства наплавных блоков, генераторы, редукторы, АСУ ТП, КИП
	Геотерм	80%	Все этапы проектирования и строительства	20%	АСУ ТП КИПиА
	Биомасса	30%	Проектирование, СМР	70%	Инновационное, эффективное оборудование с высоким КПД
	МЭК	50%	Проектирование, СМР, оборудование	50%	Оборудование ВЭС, частично дизельгенераторы, АСУ ТП, КИПиА

Действующие ВЭС в России

(на 01.01.2017 г.)

Название	Установленная мощность, МВт	Область
Зеленоградская ВЭУ	5,1	Калининградская область
ВЭС Тюпкильды	2,2	Республика Башкортостан
Калмыцкая ВЭС	1	Республика Калмыкия
ВЭС с. Тамар-Уткуль	0,925	Оренбургская область
ВЭС г. Орск	0,4	Оренбургская область
ВЭС ООО «АльтЭнерго»	0,1	Белгородская область

ВЭС Крыма



Название	Установленная мощность, МВт
<u>Останинская ВЭС</u>	25
<u>Тарханкурская ВЭС</u>	22,45
<u>Сакская ВЭС</u>	20,82
<u>Пресноводненская ВЭС</u>	7,39
<u>Донузлавская ВЭС</u>	6,78
<u>Судакская ВЭС</u>	3,76
<u>Восточно-Крымская ВЭС</u>	2,81

Виды потенциалов ветровой энергии мира и России на высоте 10 м

Вид потенциала	Валовой	Технический	Экономический
Мировые	$3300 \cdot 10^{12}$ кВт.ч	10-12 %	5-6 %
Россия	$260 \cdot 10^{12}$ кВт.ч		

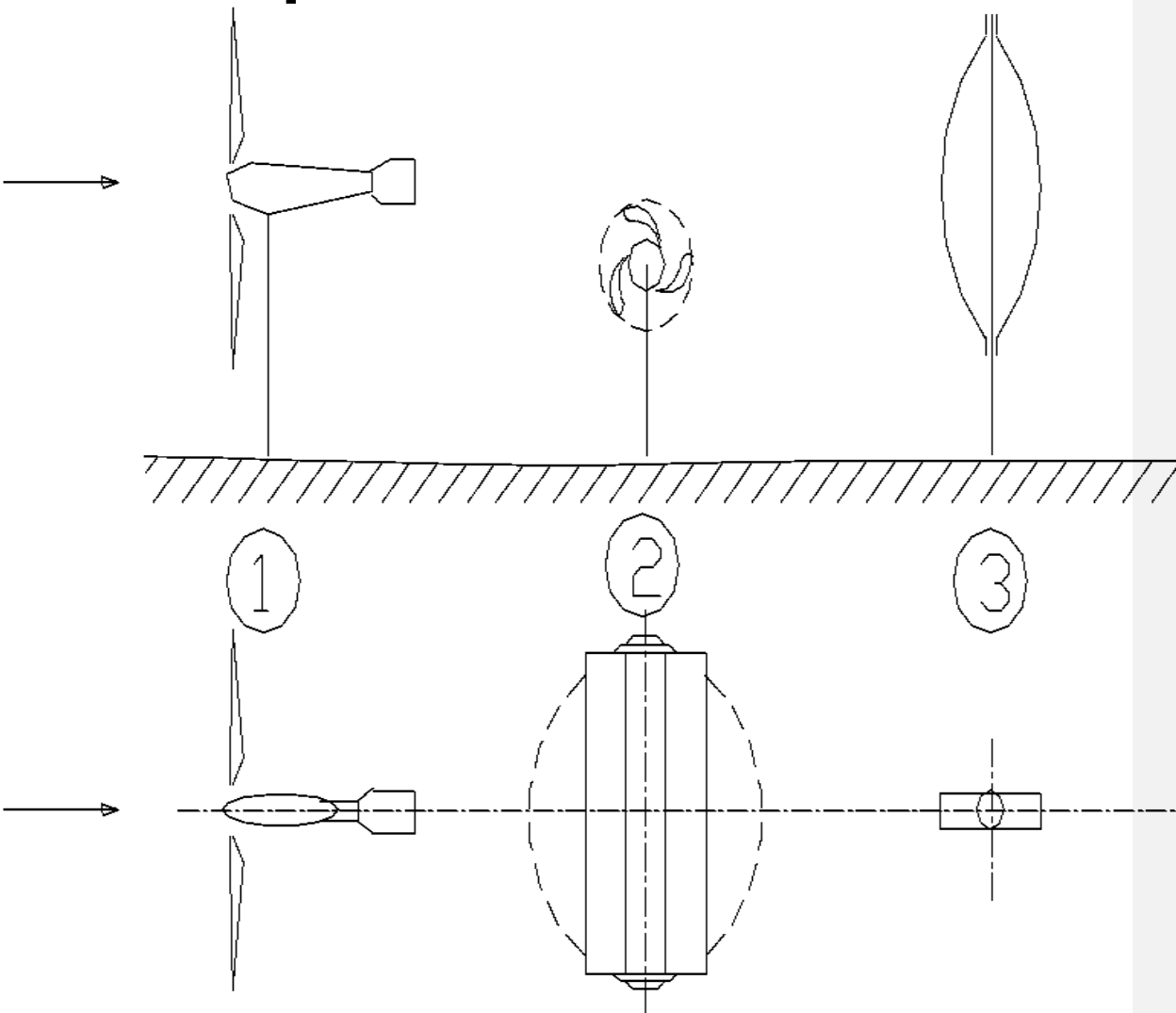


**Среднегодулетние скорости
ветра на высоте 10 м (Россия)**

Классификация ВЭУ

1. По мощности
2. В зависимости от ориентации оси вращения по отношению к направлению ветрового потока
3. По основному принципу использования векторной энергии движущихся воздушных масс современные ВЭУ
(подъемная сила, сила сопротивления)
4. По условиям использования
(автономные, локальные, системные)
5. По расположению (береговые, оффшорные)

В зависимости от ориентации оси вращения по отношению к направлению ветрового потока

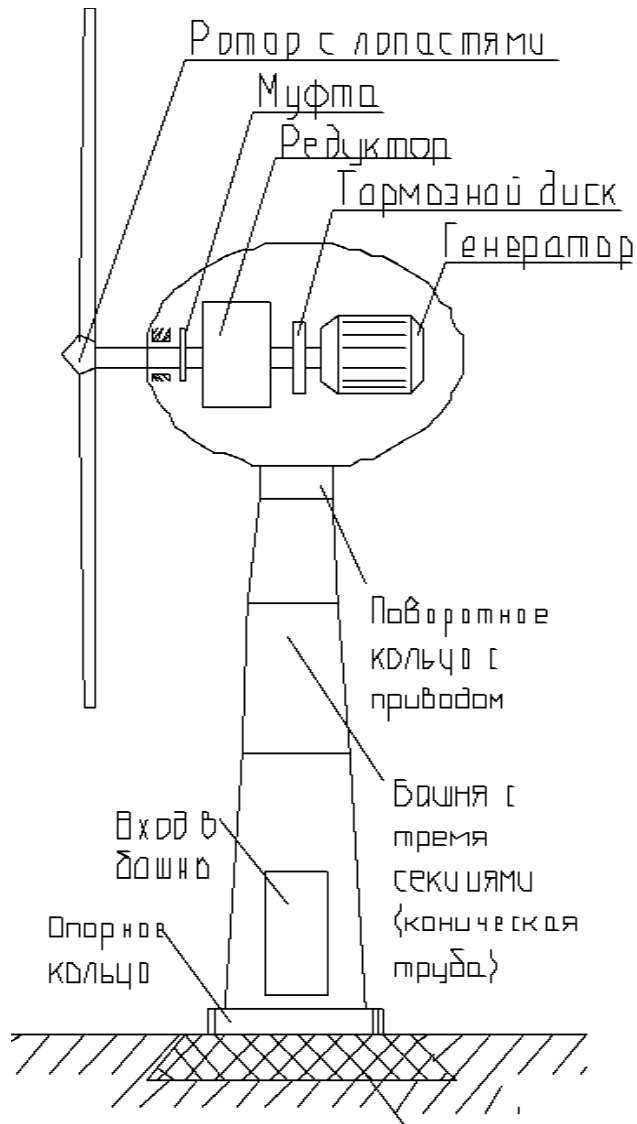


1. С горизонтальной осью вращения, параллельной направлению ветрового потока (аналог ветряных мельниц)

2. С горизонтальной осью вращения, перпендикулярной направлению ветра (аналог водяного колеса)

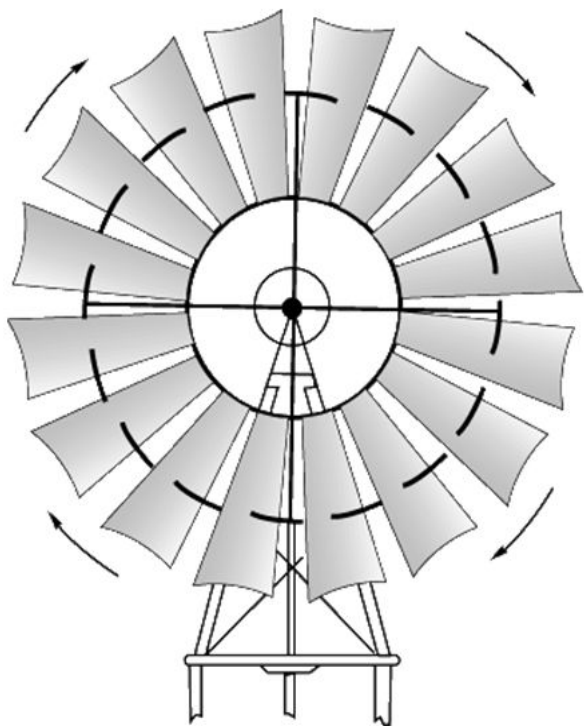
3. С вертикальной осью вращения, перпендикулярной 24 направлению

Основные компоненты ВЭУ с горизонтальной осью вращения:



Ветроколесо
Редуктор (коробка передач)
Генератор
Гондола
Башня
Механизм регулирования
Устройство ориентации на ветер
Схемы соединения с сетью или автономным потребителем
Прочее электрическое и электронное оборудование

Ветроколеса крыльчатых ВЭУ



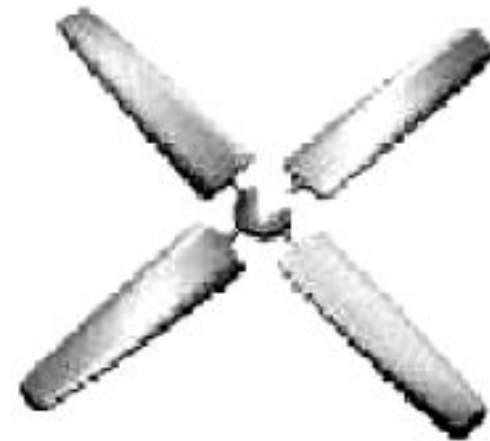
**Многолопастная
ветроэлектростанция**

а) многолопастное

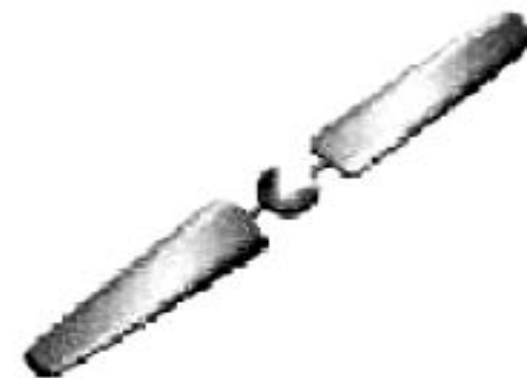
б) четырехлопастное



в) трехлопастное



г) двухлопастное



Лопасты

Основные требования:

- прочные и легкие,
- хорошо противостоят циклическим нагрузкам, вибрации и воздействию атмосферы.

Основные критерии для выбора материала для лопастей системных ВЭУ:

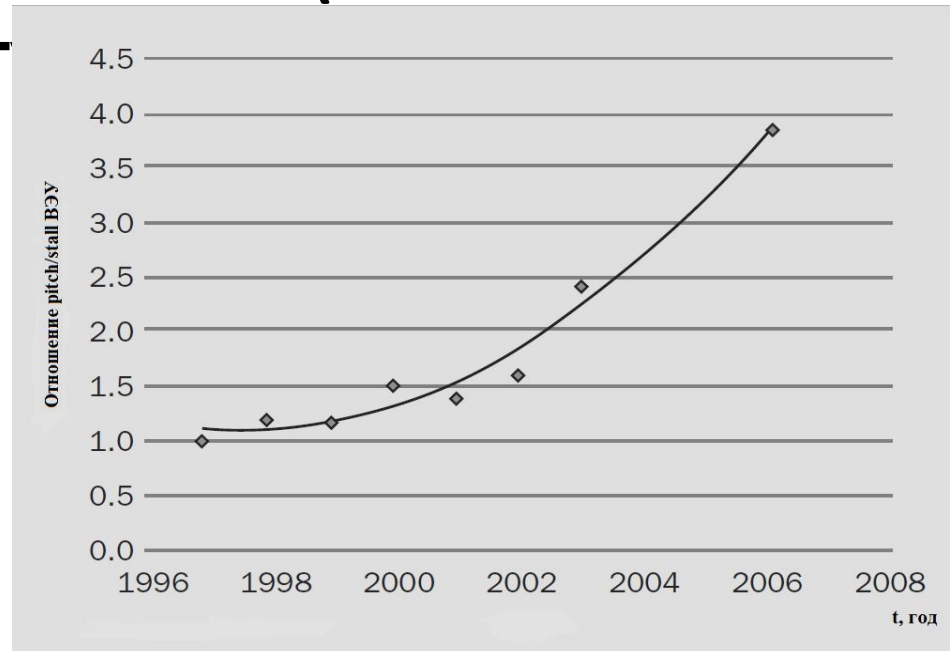
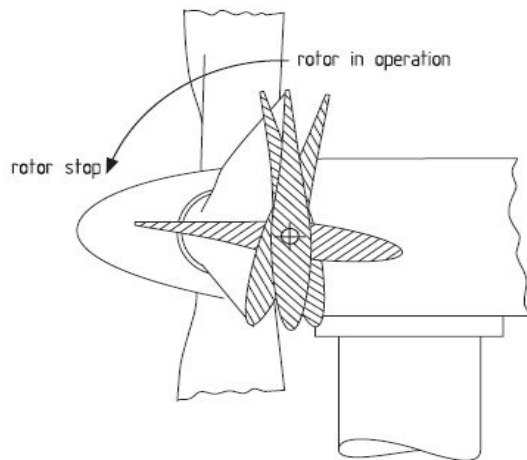
усталостная прочность, удельный вес, допустимые напряжения, модуль упругости, прочность на разрыв.

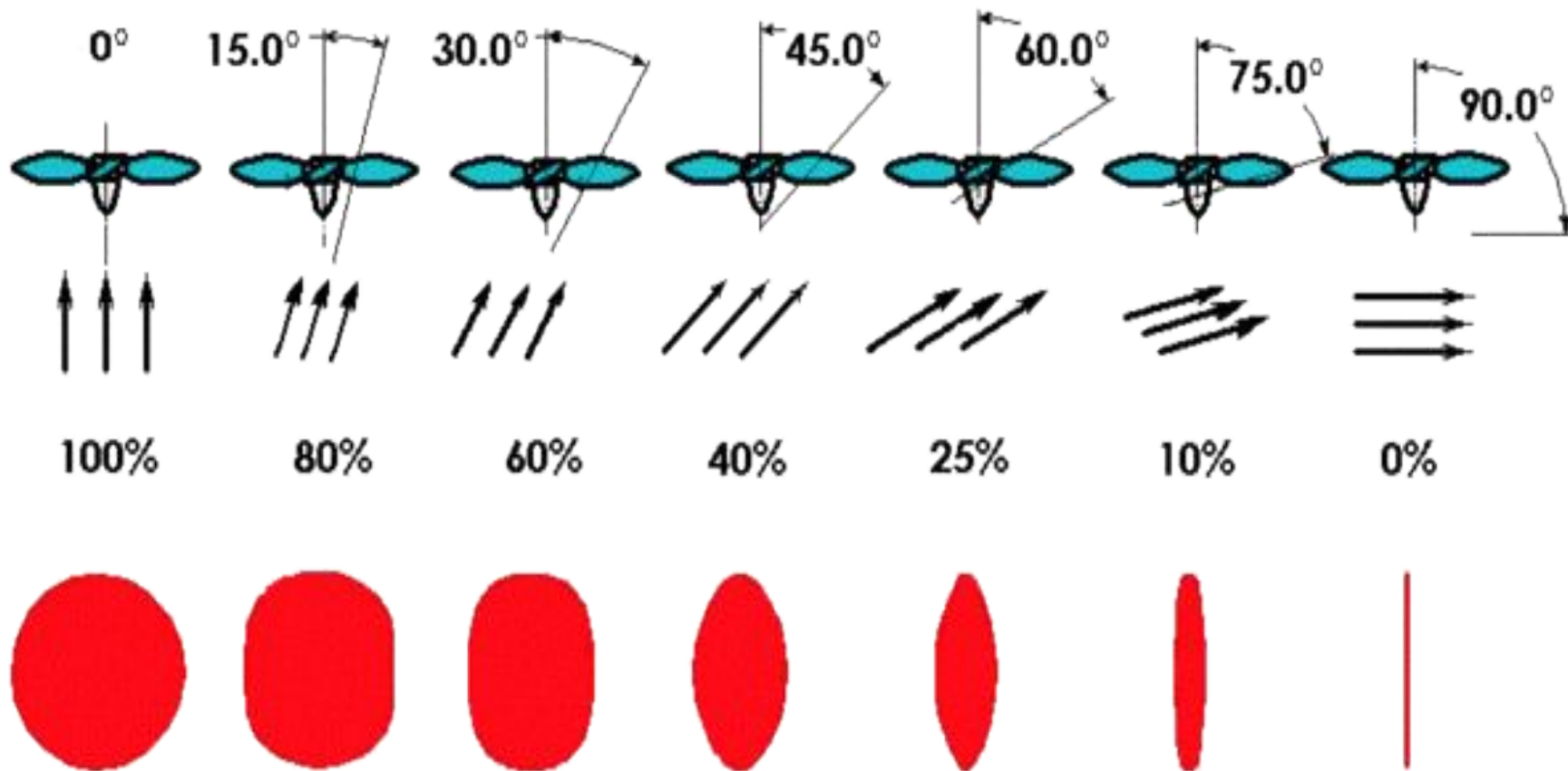
Сайт:

http://www.politermo.ru/stati/Lopasti_vetroagregat.pdf

Системы регулирования

- с регулируемым лопастями (*pitch*-регулирование);
- с нерегулируемыми лопастями (*stall*-рег

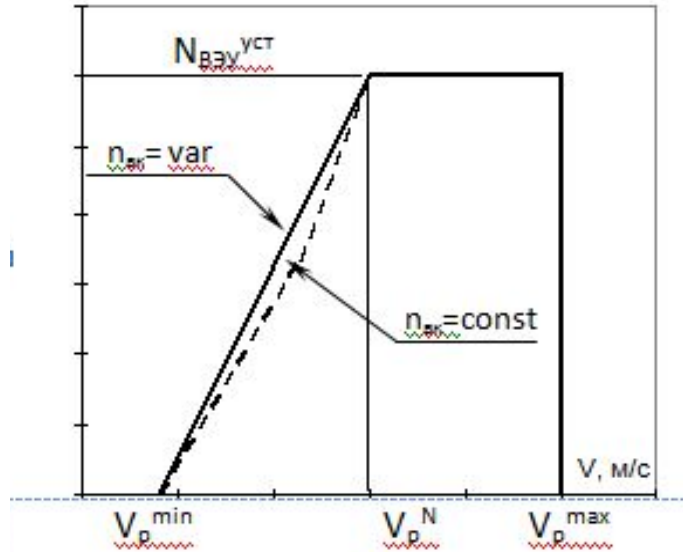




Ометаемая площадь пропеллера, составляющая основу для расчета выходной мощности ВЭУ и равная площади, охватываемой лопастями установки

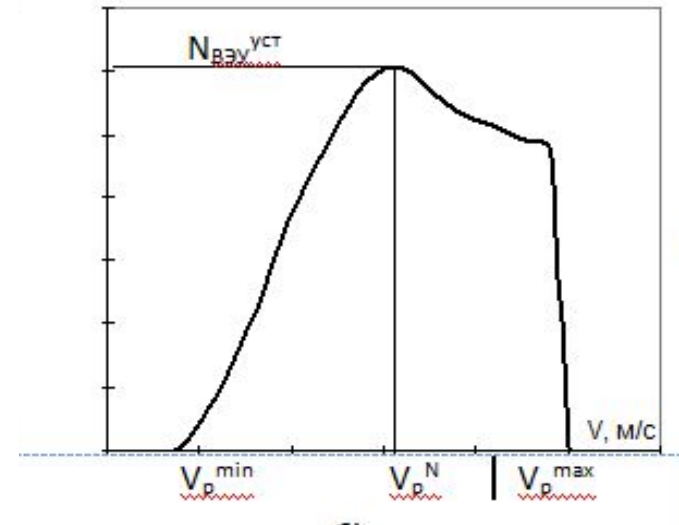
Мощностные характеристики ВЭУ

Нвэу, кВт



а) с $\phi^\circ = \text{var}$

Нвэу, кВт



б) с $\phi^\circ = \text{const}$

Стандартные условия:

- высотная отметка «0» м над уровнем моря и $T=15^\circ\text{C}$, т.е. плотность воздуха в $1,225 \text{ кг/м}^3$;
- условиям оптимальной ориентации ротора ВЭУ по направлению набегающего ламинарного потока воздуха;
- заданные: высота башни $H_б$ (м), число лопастей $n_л$, диаметр ветроколеса D_1 ;
- изолированное расположение ВЭУ.

Основные виды потерь энергии в ВЭУ

Потери в элементе	Диапазон потерь, %
Аэродинамические потери в роторе ВК	(40÷50)%
Потери энергии в коробке передач	(2÷5)%
Потери энергии в генераторе	(2÷10)%
Потери энергии в механизме регулирования лопастей ВК	>2%
Потери энергии в механизме ориентации гондолы под ветер	>2%
Потери энергии в ТР, и промежуточном контуре постоянного тока	>2%

КПД крыльчатых ВЭУ - (32÷36) %