

Ветроэнергетика

Анализ ветровых ресурсов



- Карта ветроэнергетических ресурсов России.
- Цифрами обозначены зоны со среднегодовыми скоростями ветра: 1 – выше 6 м/сек; 2 – от 3,5 до 6 м/сек; 3 – до 3,5 м/сек.

Ветряные электростанции в России

В России, за последние десятилетие, построено и пущено в эксплуатацию лишь несколько ветряных электростанций.

В Башкортостане установлены четыре ветряных электростанции мощностью по 550 кВт.

В Калининградской области, смонтировано 19 установок. Мощность парка ветряных электростанций составляет ~5 МВт.

На Командорских островах возведены две ветротурбины по 250 кВт.

В Мурманске вошла в строй ветроустановка мощностью 200 кВт.

Но совокупная мощность ветроэлектростанций России не превысила в 2004 году 12 МВт.

Российская Федерация — это страна с большой территорией, расположенной в разных климатических зонах, что определяет высокий потенциал использования ветряных электростанций. Технический потенциал составляет более 6200 миллиардов киловатт часов, или в 6 раз превышает всё современное производство электроэнергии в нашей стране.

Сила ветра по шкале Бофора и ее влияние на ветроустановки и условия их работы

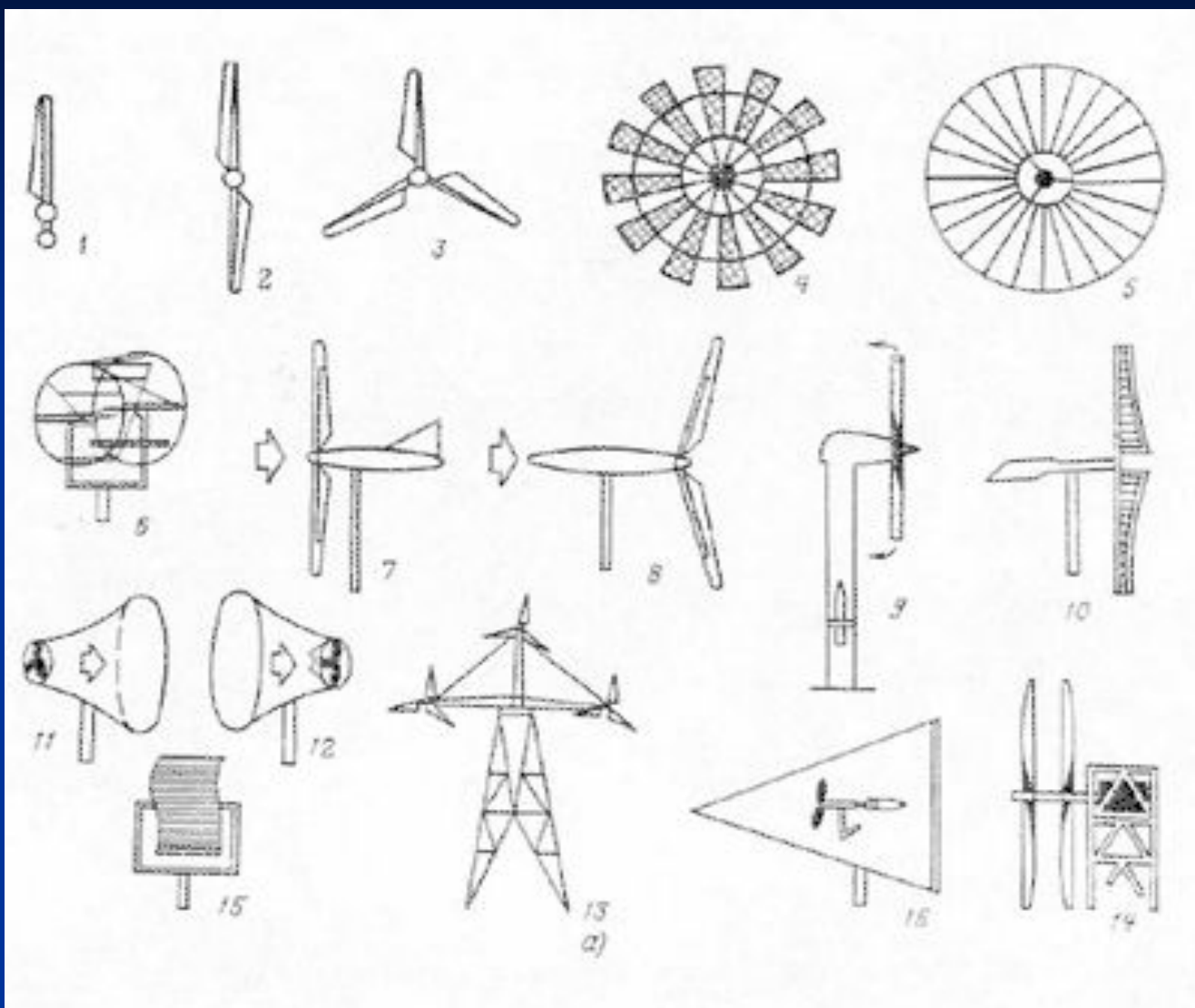
Баллы Бофорта	Скорость ветра, м/с	Характеристика силы ветра	Наблюдаемые эффекты действия	Воздействие ветра на ВЭУ	Условия для работы ВЭУ при средней в данном диапазоне скорости ветра
0	0,0-0,4	Штиль	Дым из труб поднимается вертикально	нет	отсутствуют
1	0,4-1,8	Тихий	Дым поднимается не совсем отвесно, но флюгеры неподвижны. На воде появляется рябь.		
2	1,8-3,6	Легкий	Ветер ощущается лицом, шелестят листья, на воде отчетливое волнение		Плохие для всех установок
3	3,6-5,8	Слабый	Колеблются листья на деревьях, развеваются флаги, на отдельных волнах барашки	Начинают вращаться тихоходные колеса	Хорошие для тихоходных ветроколес

4	5,8-8,5	Умеренный	Колеблются тонкие ветки деревьев, поднимается пыль и клочки бумаги, на воде много барашков	Начинают вращаться колеса аэрогенераторов	Хорошие ДЛЯ аэрогенераторов
5	8,5-11	Свежий	Начинают раскачиваться лиственные деревья, все волны в барашках	Мощность ВЭУ достигает 30% проектной	Хорошие
6	11-14	Сильный	Раскачиваются большие ветки деревьев, гудят телефонные провода, пенятся гребни волн.	Мощность в расчетном диапазоне близка к максимальной	Приемлемы для прочных малогабаритных установок
7	14-17	Крепкий	Все деревья раскачиваются, с гребней волн срывается пена	Максимальная мощность	Предельно допустимые
8	17-21	Очень крепкий	Ломаются ветки деревьев, трудно идти против ветра, с волн срываются клочья пены	Ряд ветроустановок начинает отключаться	Недопустимые
9	21-25	Шторм	Небольшие разрушения, срываются дымовые трубы	Все установки отключаются	
10	25-29	Сильный шторм	Значительные разрушения, деревья вырываются с корнем	Предельные нагрузки	

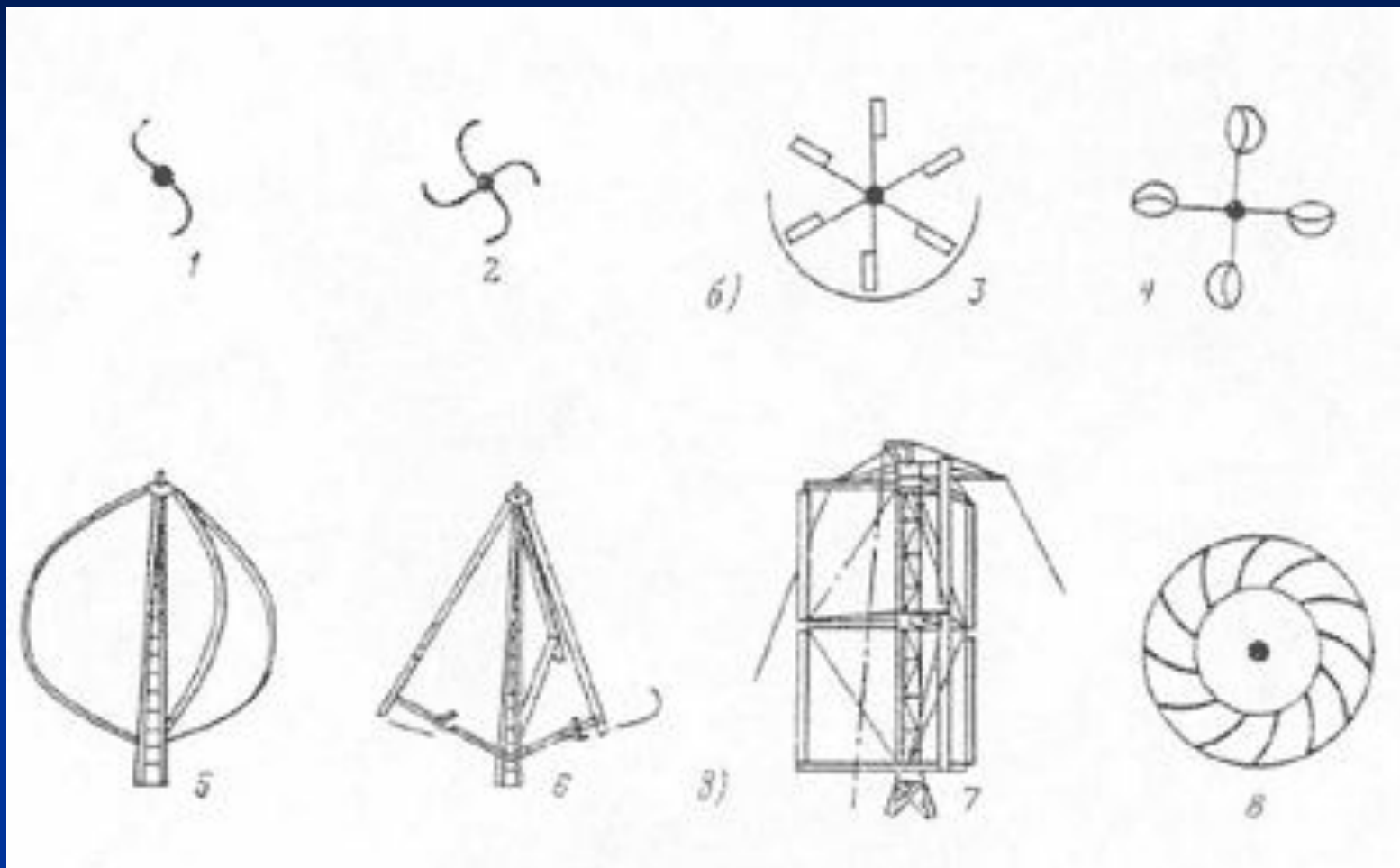
11	29-34	Жестокий шторм	Широко масштабные разрушения	Повреждение некоторых установок	
12	Более 34	Ураган	Опустошительные разрушения	Серьезные повреждения, до разрушения установок	

Типы ветрогенераторов

С горизонтальной осью вращения

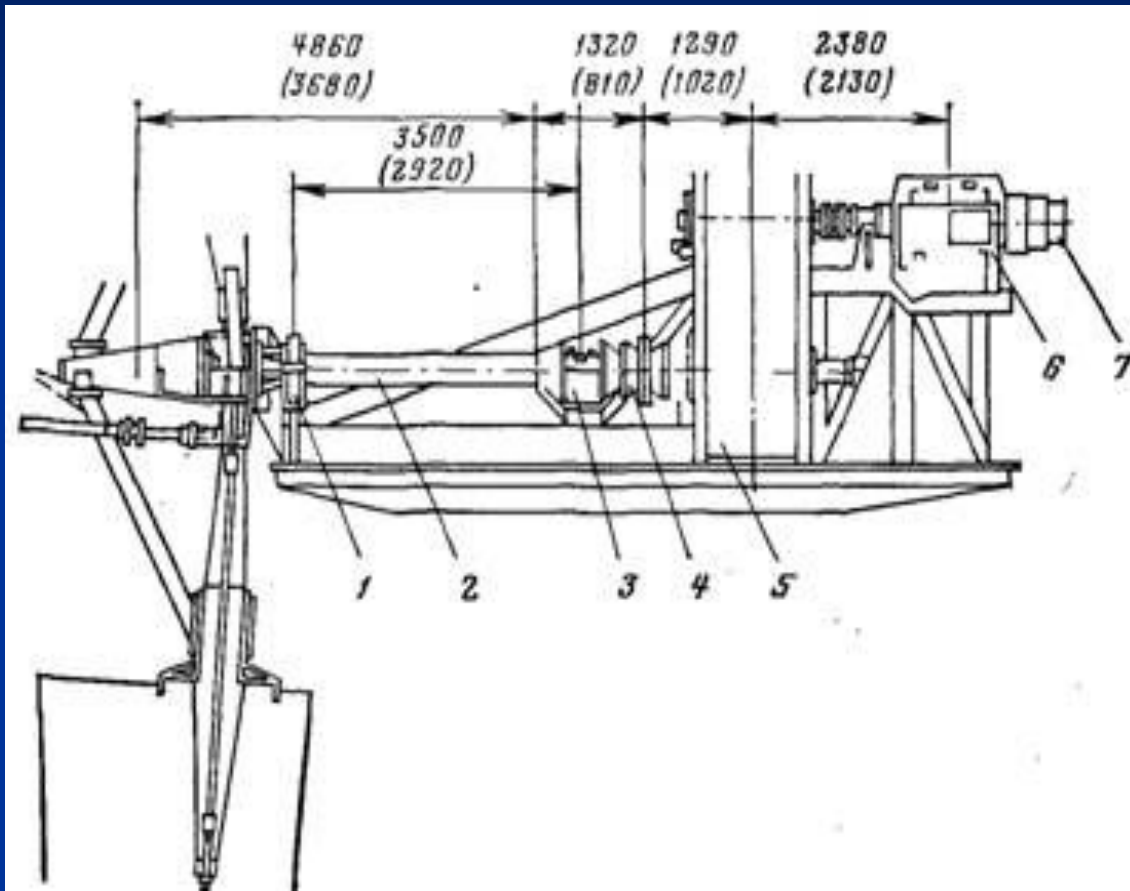


С вертикальной осью вращения



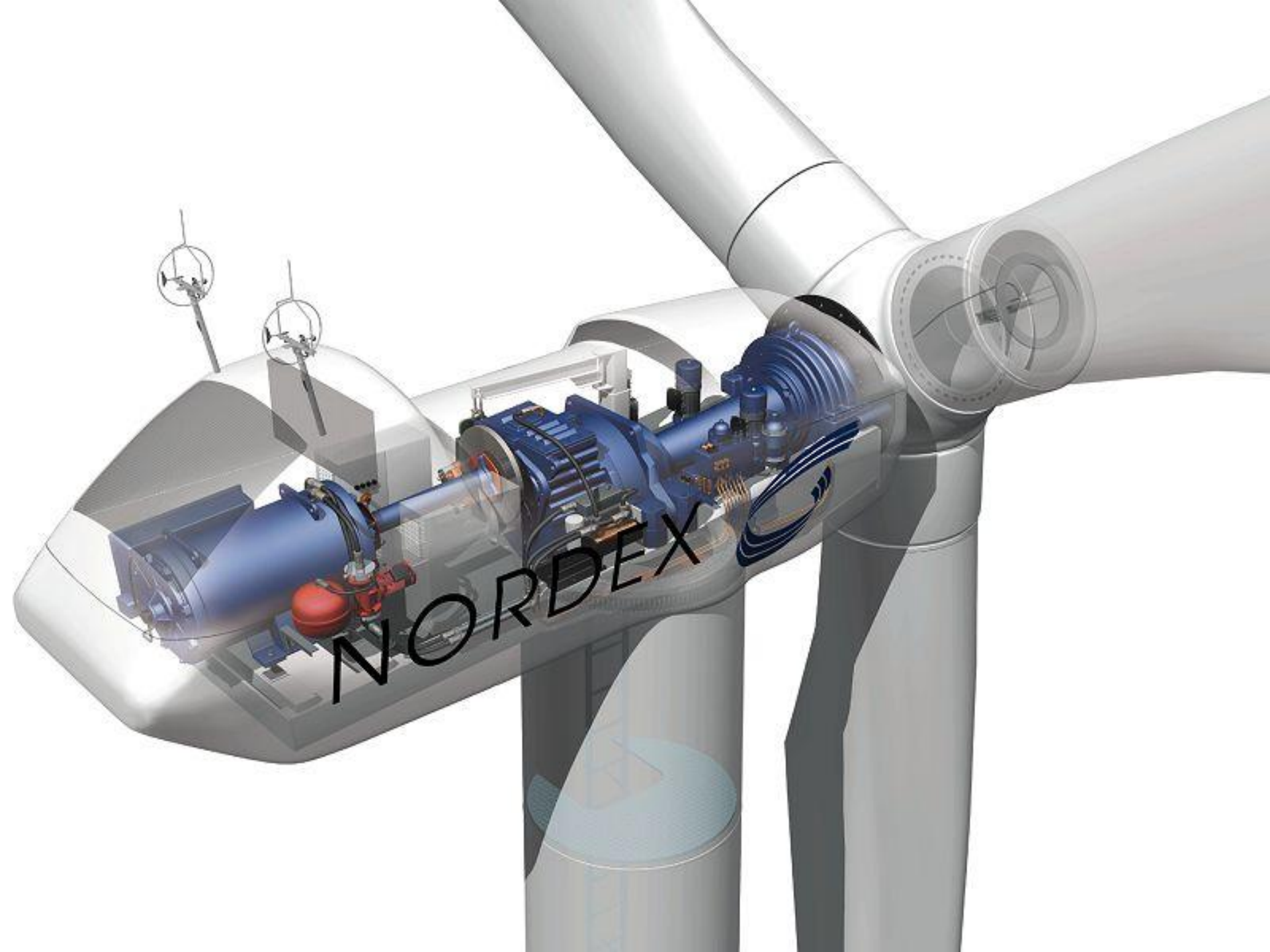
- Основные компоненты установок обоих типов:
- * **ветроколесо (ротор)**, преобразующее энергию набегающего ветрового потока в механическую энергию вращения оси турбины. Диаметр ветроколеса колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров. Частота вращения составляет от 15 до 100 об/мин. Обычно для соединенных с сетью ВЭУ частота вращения ветроколеса постоянна. Для автономных систем с выпрямителем и инвертором - обычно переменная;
- * **мультипликатор** - промежуточное звено между ветроколесом и электрогенератором, который повышает частоту вращения вала ветроколеса и обеспечивает согласование с оборотами генератора. Исключение составляют ВЭУ малой мощности со специальными генераторами на постоянных магнитах; в таких ветроустановках мультипликаторы обычно не применяются;
- * **башня** (ее иногда укрепляют стальными растяжками), на которой установлено ветроколесо. У ВЭУ большой мощности высота башни достигает 75 м. Обычно это цилиндрические мачты, хотя применяются и решетчатые башни;
- * **основание (фундамент)**, предназначено для предотвращения падения установки при сильном ветре.

Предварительный проект компоновки оборудования ВЭУ:



- 1 — главный подшипник № 1;
 - 2 — главный вал;
 - 3 — главный подшипник № 2;
 - 4 — упругая муфта;
 - 5 — редуктор;
 - 6 — генератор;
 - 7 — возбудитель
- (размеры показаны для установок мощностью 1500 и 500 кВт — последние даны в скобках).


- Кроме того, для защиты от поломок при сильных порывах ветра и ураганах почти все ВЭУ большой мощности автоматически останавливаются, если скорость ветра превышает предельную величину. Для целей обслуживания они должны оснащаться тормозным устройством. Горизонтально-осевые ВЭУ имеют в своем составе устройство, обеспечивающее автоматическую ориентацию



NORDEX

Тормозная система - устройства, которые при скорости вращения ротора, менее номинальной, участвуют в создании полезной мощности, а при скорости выше номинальной создают тормозящий эффект и тем самым стабилизируют скорость вращения ротора, не давая ему идти "вразнос".





Генератор ВЭУ – устройство, преобразующее вращательное движение ротора ветроустановки в электрическую энергию. Простейший генератор состоит из обмотки и магнитов. За счет прохождения витка обмотки в магнитном поле в проводнике генерируется электрический ток, который по проводам передается на выходные клеммы генератора.

Ступица ветроэнергетической установки — сооружение, на котором смонтирован ротор установки с лопастями. Внутри ступицы находится генератор, подшипники и некоторые другие агрегаты ветроустановки.

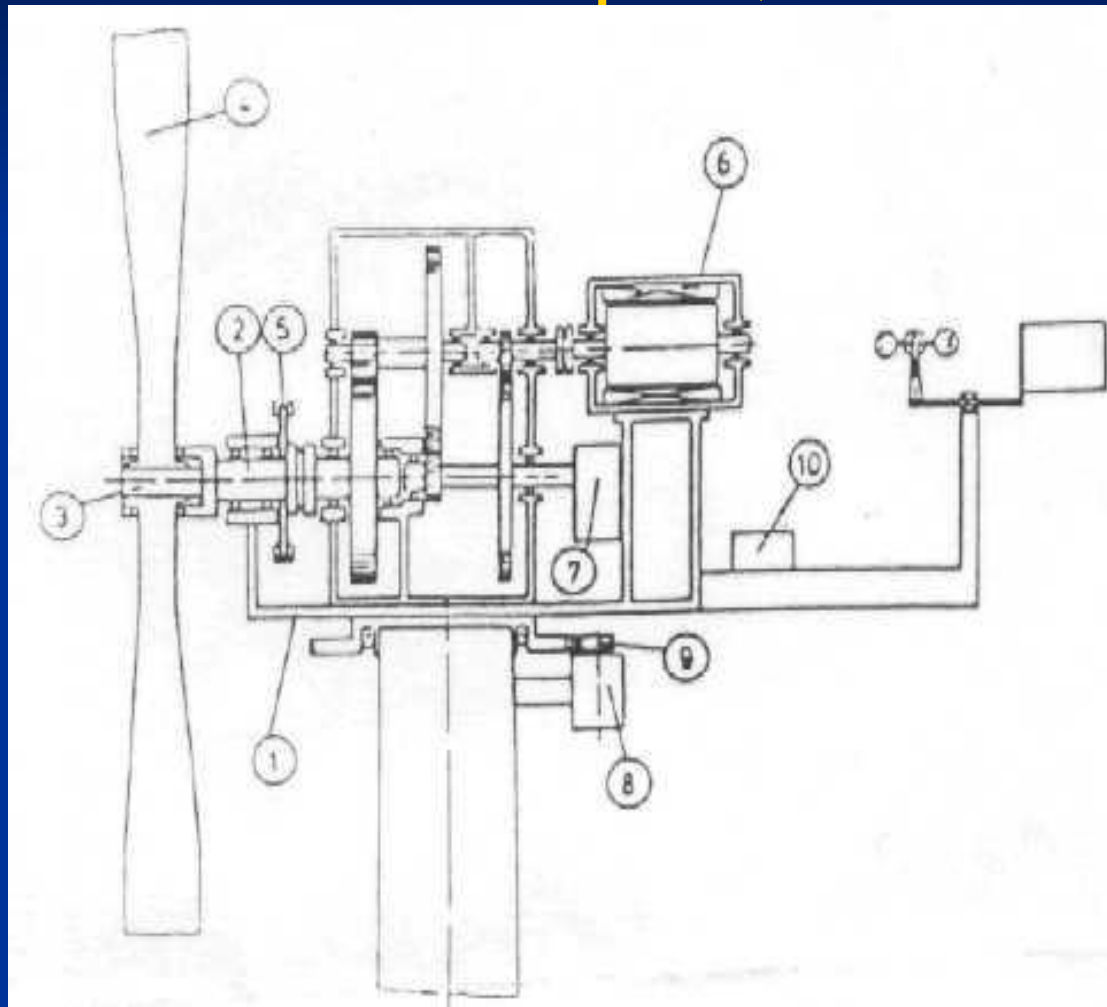


Инвертор – устройство, преобразующее постоянное напряжение в переменное постоянной частоты. Например, 24 (48 или 96) вольт постоянного тока в 220 вольт переменного тока с частотой 50 Гц с помощью выделения определенной полосы напряжений с



Ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения

Механическая часть современной горизонтальной ветроэнергетической установки, принципиальная схема



1 кожух; 2 вал ротора;
3 втулка; 4 лопасти; 5
дисковый тормоз; 6
генератор; 7 гидрав-
лический узел; 8
механизм поворота в
направлении ветра -
привод; 9 механизм
поворота в направле-
нии ветра - редуктор;
механизм поворота в
направлении ветра –
управление.

Мощность ВЭУ

Диаметр ветро- колеса, м	Мощность ВЭС, кВт						
	Скорость ветра, м/с						
	4	5	6	7	8	9	10 и более
2	0,04	0,08	0,1	0,23	0,345	0,36	—
4	0,17	0,33	0,58	0,92	1,38	1,38	—
8	0,69	1,34	2,32	3,7	5,5	5,5	—
10	1,08	2,1	3,63	5,75	8,6	8,6	—
12	1,55	3,03	5,25	8,25	12,4	12,4	—
18	3,48	6,6	11,8	18,6	28,8	39,5	54,6
30	9,6	18,9	32,6	51,6	77,3	110, 0	151,1



- Прибрежная ферма ветроэнергетических установок Миддельгрюнден, около Копенгагена, Дания. На момент постройки она была крупнейшей в мире



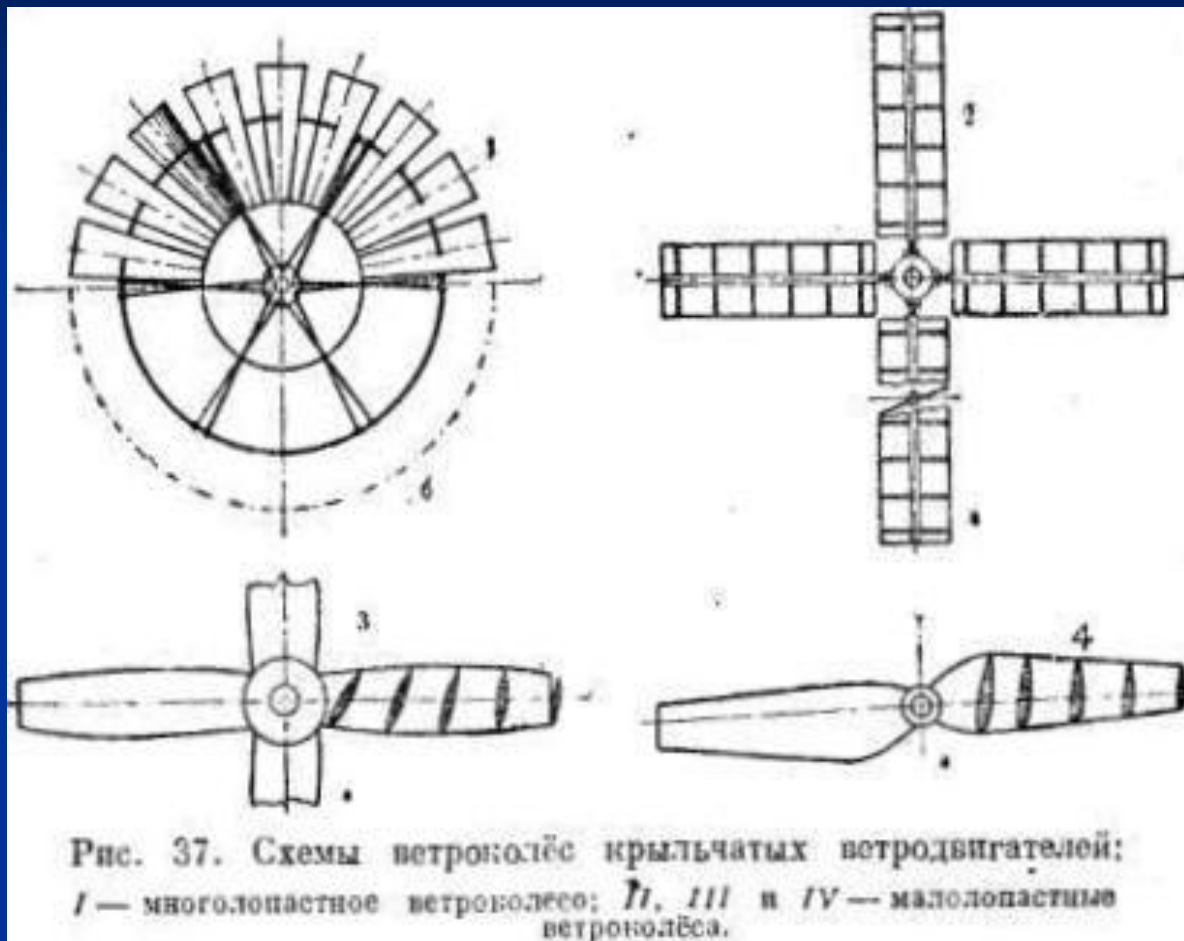


Таблица: Суммарные установленные мощности, МВт, по странам мира 2005—2007 г. Данные Европейской ассоциации ветроэнергетики и WWEA.

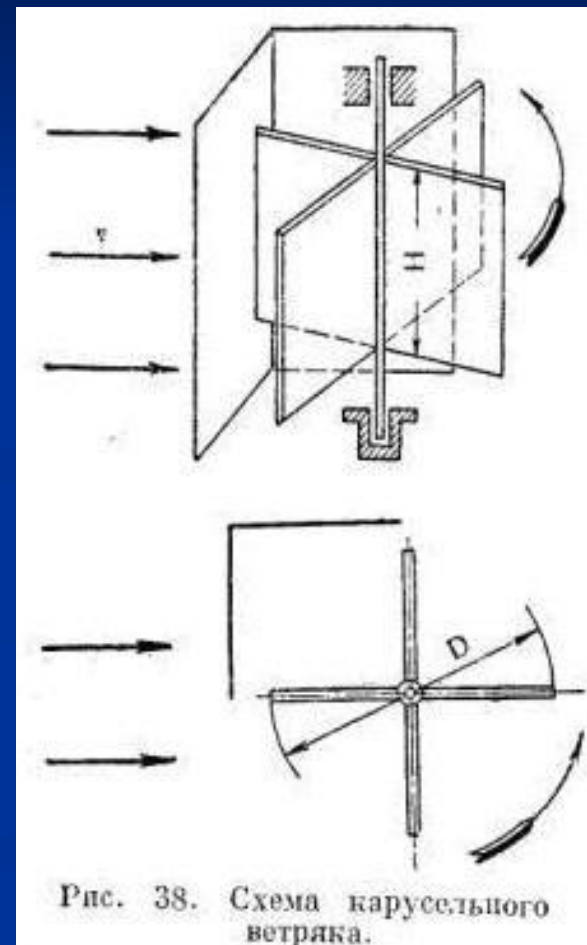
Страна ^[1]	2005 г., МВт ^[1]	2006 г., МВт ^[1]	2007 г., МВт ^[1]
Германия	18428	20622	22247
США	9149	11603	16818
Испания	10028	11615	15145
<u>Индия</u>	4430	6270	7580
<u>Китай</u>	1260	2405	6050
<u>Дания</u>	3122	3136	3125
<u>Италия</u>	1718	2123	2726
<u>Великобритания</u>	1353	1962	2389
<u>Франция</u>	757	1567	2454
Португалия	1022	1716	2150
Нидерланды	1224	1558	1746

<u>Канада</u>	683	1451	1846
<u>Япония</u>	1040	1394	1538
<u>Австрия</u>	819	965	982
<u>Австралия</u>	579	817	817,3
<u>Греция</u>	573	746	871
<u>Ирландия</u>	496	746	805
<u>Швеция</u>	510	571	788
<u>Норвегия</u>	270	325	333
<u>Бразилия</u>	29	237	247,1
<u>Бельгия</u>	167,4	194	287
<u>Польша</u>	73	153	276
<u>Египет</u>	145	230	310
<u>Турция</u>	20,1	50	146
<u>Чехия</u>	29,5	54	116
<u>Финляндия</u>	82	86	110
<u>Украина</u>	77,3	86	89
<u>Болгария</u>	14	36	70
<u>Венгрия</u>	17,5	61	65
<u>Эстония</u>	33	32	58
<u>Литва</u>	7	48	50
<u>Люксембург</u>	35,3	35	35
<u>Аргентина</u>	26,8	27,8	29,8
<u>Латвия</u>	27	27	27
<u>Россия</u>	14	15,5	16,5

Крыльчатое



Роторное карусельное



Роторное барабанное

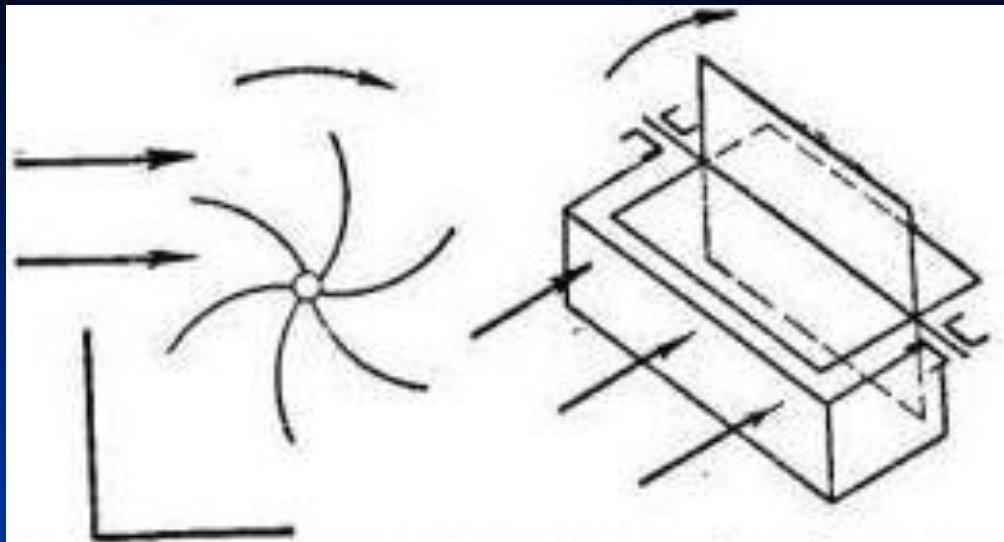


Рис. 40. Схема ветроколеса барабанного типа.

Савониуса

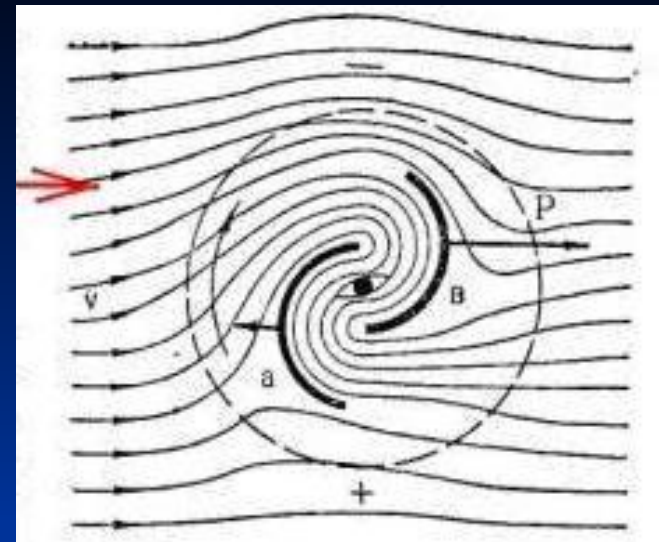


Рис. 49. Схема движения ветрового потока при обтекании ротора Савониуса.

Эффект Магнуса/Флеттнера

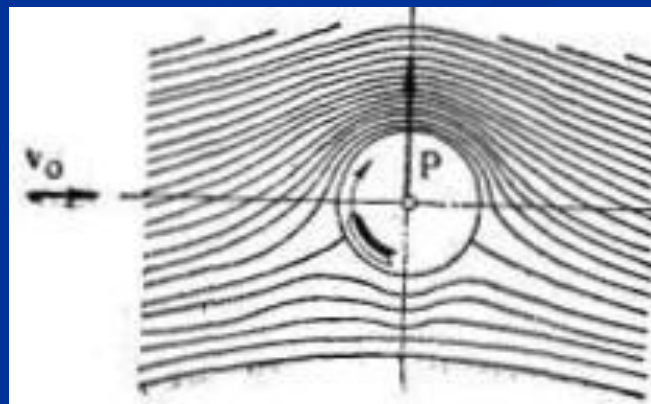

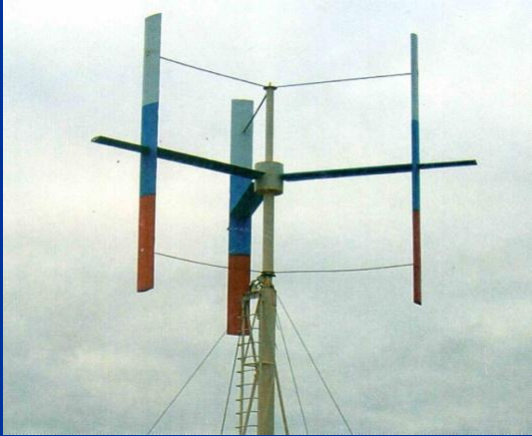
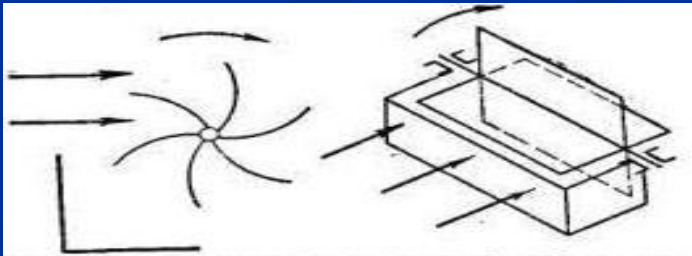
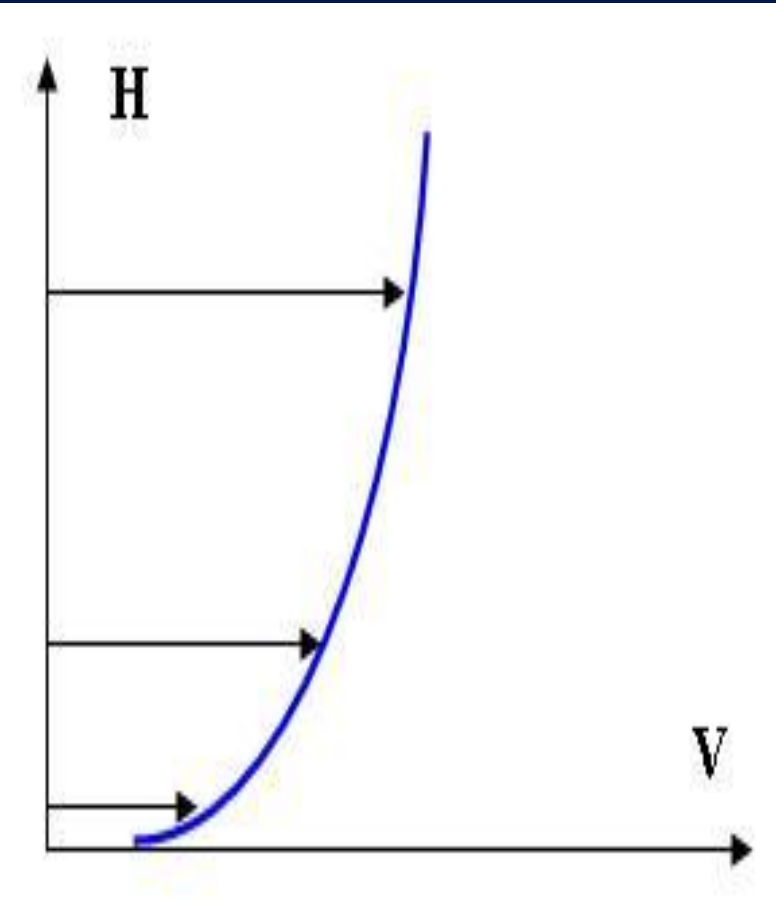


Рис. 46. Схема возникновения подъемной силы на цилиндре, вращающемся в воздушном потоке.

Сравнение типов ветротурбин по теоретической аэродинамической характеристике ξ (КПД ветротурбины)

Тип ветротурбины	Коэф. ξ	рисунок
Крыльчатая с горизонтальной осью вращения параллельной потоку воздуха (классическая)	0,593	
Карусельная крыльчатая ветротурбины с вертикальной осью перпендикулярной направлению движения потока	0,41	
Роторная карусельная с осью перпендикулярной направлению движения потока	0,192	 <p data-bbox="1190 1368 1885 1415">Рис. 40. Схема ветроколеса барабанного типа.</p>

Ветер

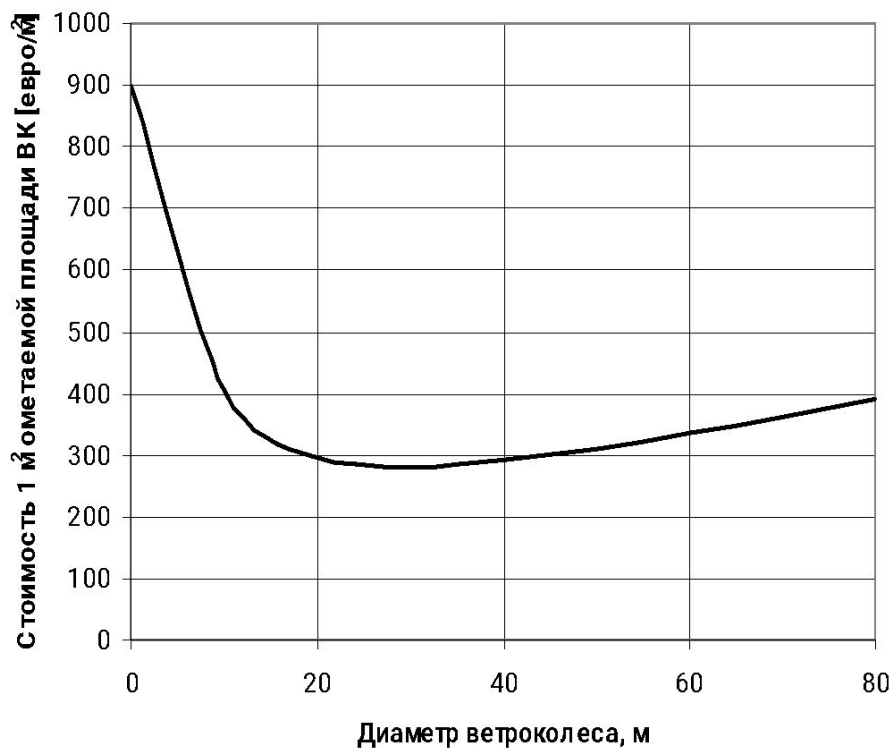


м/с	Вт/м ²
1	1
3	17
5	77
9	477
11	815
15	2067
18	3572
21	5672
23	7452

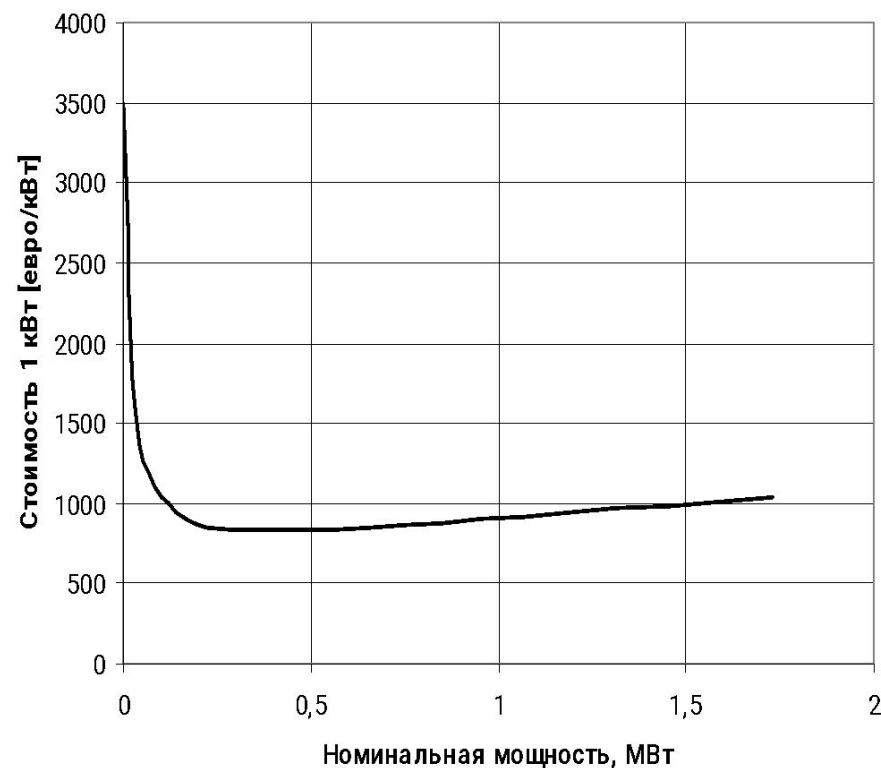
Зависимость стоимости ВЭУ от диаметра ветротурбины и единицы установленной мощности

(цифры 2002 года, на сегодня их нужно увеличить на 25..30%).

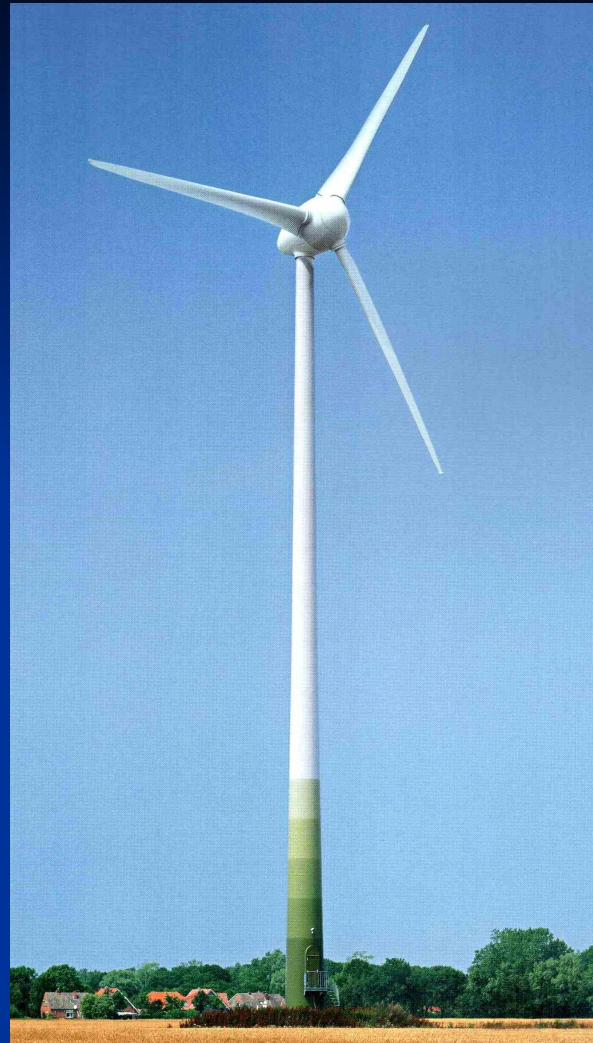
От диаметра
ветротурбины



От мощности генератора



Современная ВЭУ



Главная характеристика ВЭУ - себестоимость получаемой электроэнергии.

$$\xi = 0,593$$



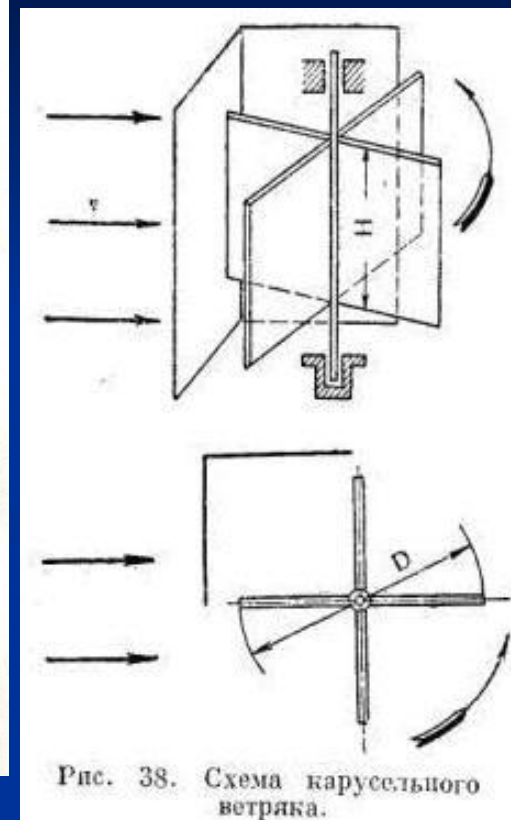
Классическая

$$\xi = 0,41$$



Карусельная
крыльчатая

$$\xi = 0,192$$



Карусельная
роторная

ВЭУ на основе эффекта Магнуса-Флеттнера

Эффективность несущего профиля лопасти или крыла характеризуется коэффициентом качества профиля K :

$$K = C_y / C_x$$

C_y – характеризует подъёмную силу профиля (т.е. полезный эффект),

C_x – характеризует силу сопротивления профиля (т.е. вредный эффект).

Для вращающегося цилиндра $K = 3$

Для профилей достигим $K = 28$.

Теоретический КПД $\xi = 0,593$.



БЭУ SW2/5



Технические характеристики ветроэлектрической установки

Максимальная выходная мощность, кВт	5	
Мощность генератора, кВт.	2	
Напряжение, Вольт	~220 или ~120	
Частота тока, Герц	50 или 60	
Расчетная скорость ветра, м/с	9,1	
Минимальная рабочая скорость ветра, м/с	3	
Максимальная рабочая скорость ветра, м/с	25	
Штормовой ветер, метров/секунду	60	
Диаметр ветроколеса, метров	4,5	
Частота вращения, оборотов/мин	100...160	
Высота башни, метров	12	
Количество лопастей	3	
Диапазон температуры эксплуатации, °С	-40...+50	
Уровень шума, создаваемый ВЭУ, дБ.	45	
Срок службы установки, лет	15	
Среднегодовая выработка электроэнергии кВтчас, при среднегодовой скорости ветра:	4 м/с	2581
	5 м/с	4664
	6 м/с	6747
	7 м/с	8554
	8 м/с	9990
Масса установки, кг.	с башней	270
	без башни	95

Мощность на выходе генератора, Вт



ВДЭУ SWD20 и SWD30



Общий вид и технические характеристики ветродизельной электрической установки SWD20

Модификация ВДЭУ		SWD20	SWD30
Напряжение, В		~220 или ~120	
Частота тока, Гц		50 или 60	
Расчетная скорость ветра, м/с		8,9	10.2
Минимальная рабочая скорость ветра, м/с		3,2	4,0
Максимальная рабочая скорость ветра, м/с		25	
Штормовой ветер, м/с		60	
Диаметр ветроколеса, м		12,6	12,6
Частота вращения, об/мин		81	93
Высота башни, м		18	
Количество лопастей		3	
Диапазон температуры эксплуатации, °С		-40...+50	
Уровень шума, создаваемой ВЭУ, дБа		46	50
Срок службы, лет		25	
Среднегодовая выработка электроэнергии МВтчас (экономия дизельного топлива, т), при среднегодовой скорости ветра:	4 м/с	32,4(10,3)	-
	5 м/с	56,0(17,6)	60,2(18,7)
	6 м/с	77,3(24,4)	90,4(28,2)
	7 м/с	94,9(29,9)	117,8(35,3)
	8 м/с	-	140,8(42,2)
	9 м/с	-	159,4(47,8)
Масса установки, тонн:			
- с башней		3,4	3,6
- без башни		1,4	1,6

Ветропарк в Германии



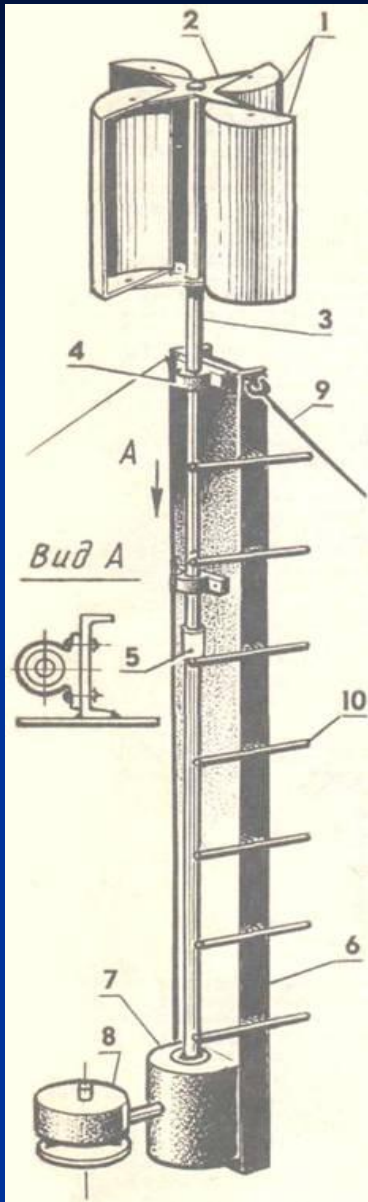
ВЭУ в степях Казахстана



Ветрогенераторы с вертикальной осью вращения

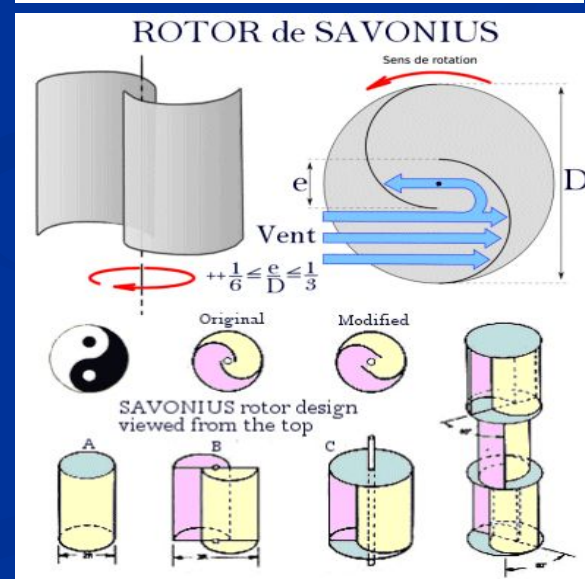
- **Вертикально-осевые ВЭУ** стали интенсивно осваивать с начала 80-х годов, причем диапазон их мощностей непрерывно расширяется. Сегодня практически все страны эксплуатируют **вертикально-осевые ВЭУ** с ротором Дарье, причем в Канаде, США, Нидерландах предпочтение отдается классической схеме с криволинейными лопастями, а в Великобритании и Румынии в качестве основной схемы приняты роторы с прямыми лопастями, параллельными оси вращения.

Схема роторной
ветроэлектростановки
(ротор Савониуса)



- 1 — лопасти
- 2 — крестовина,
- 3 — вал
- 4 — подшипники с корпусами
- 5 — соединительная муфта
- 6 — силовая стойка
- 7 — коробка передач
- 8 — генератор
- 9 — растяжки (4 шт.)
- 10 — ступени лестницы.

- Как видно на рисунке, воздушный поток используется более рационально, поэтому коэффициент использования энергии ветра у такого ветроколеса в 1,5 раза больше чем у карусельного. При некоторых преимуществах (низкий уровень шума, широкий диапазон рабочих ветров, малая площадь установки) данная конструкция имеет существенный недостаток - низкие обороты (не более 400 об/мин), поэтому уступает крыльчатым ветроустановкам.



Ротор Дарье

- В последние годы в ряде зарубежных стран, особенно в Канаде, начали заниматься разработкой вертикальные ветрогенераторы, ветродвигателя с ротором Дарье, предложенным во Франции в 1920 г. Этот ротор имеет вертикальную ось вращения и состоит из двух — четырех изогнутых лопастей.



Лопастей образуют пространственную конструкцию, которая вращается под действием подъемных сил, возникающих на лопастях от ветрового потока. В роторе Дарье коэффициент использования энергии ветра достигает значений 0,30 – 0,35. В последнее время проводятся разработки роторного двигателя Дарье с прямыми лопастями (рис. б, в).

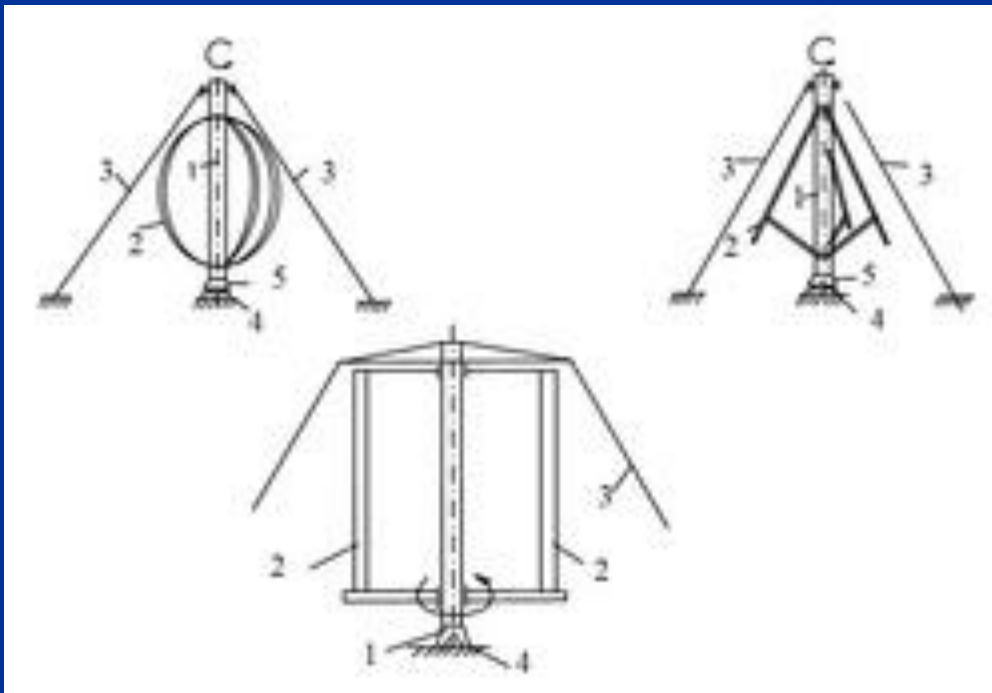
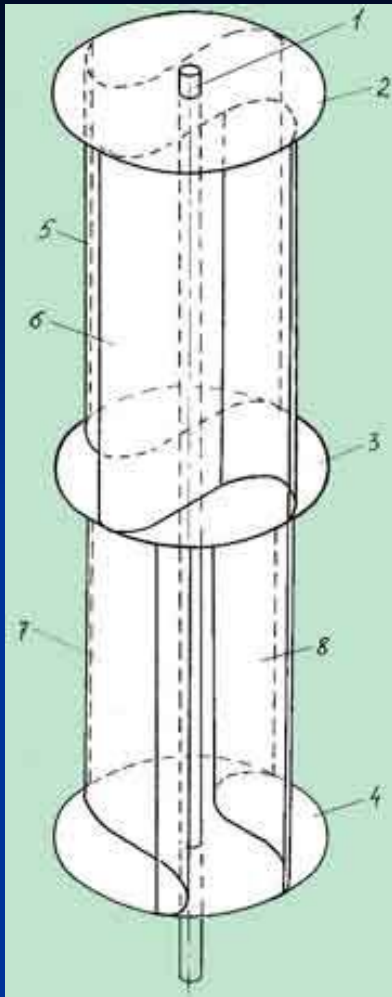


Рис. Ветроэнергетические установки (Дарье) с вертикальным ротором
а – Ф-образный,
б - D - образный,
в – с прямыми лопастями.
1 – башня (вал),
2 – ротор,
3 – растяжки,
4 – опора,
5 – передача вращающего момента

Главным преимуществом вертикальных ветрогенераторов Дарье является то, что они не нуждаются в механизме ориентации на ветер. У них генератор и другие механизмы размещаются на незначительной высоте возле основания. Все это существенно упрощает конструкцию. Однако серьезным органическим недостатком этих ветродвигателей является значительное изменение условий обтекания крыла потоком за один оборот ротора, циклично повторяющееся при работе.

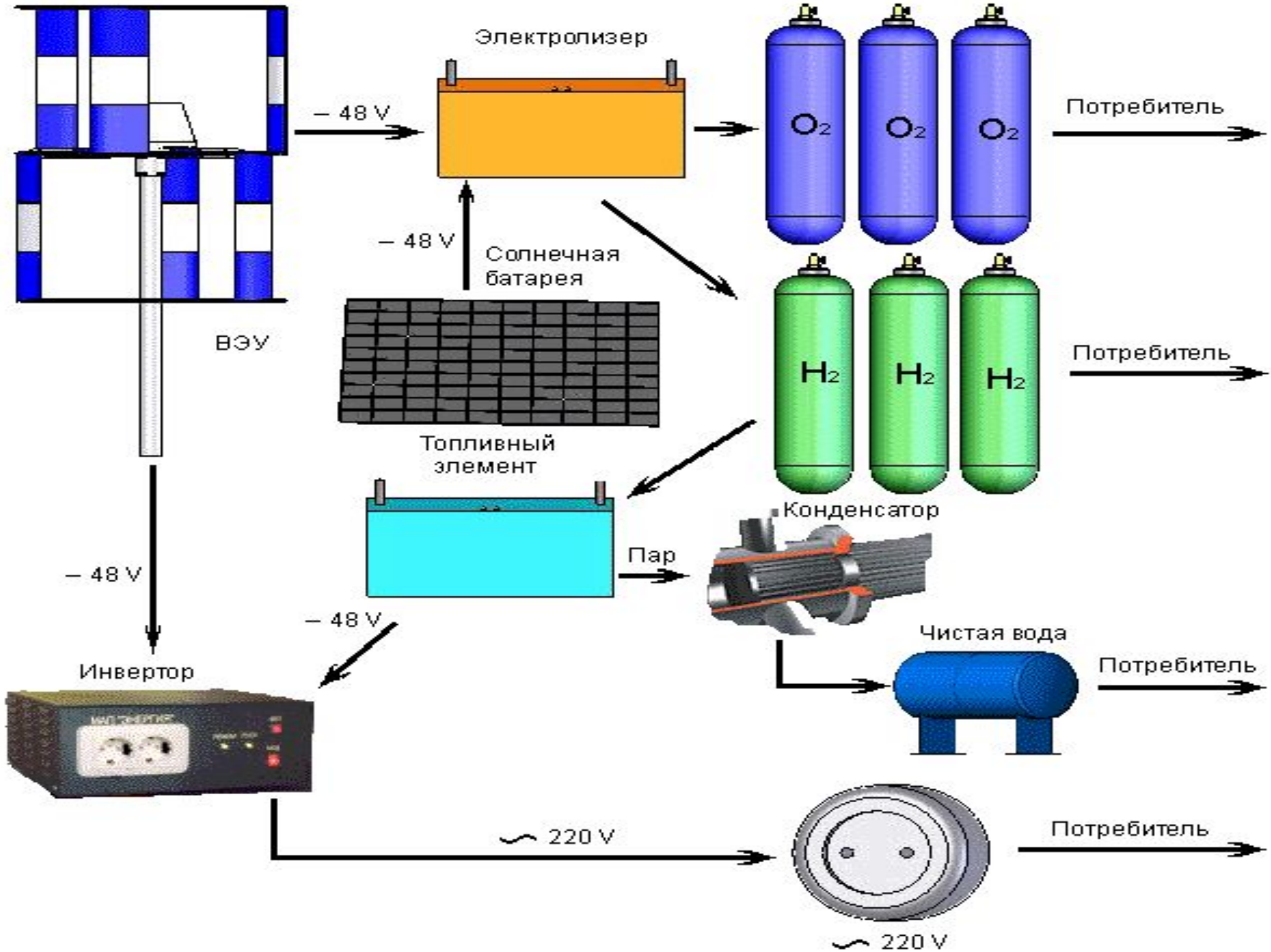


ВЕРТИКАЛЬНО - ОСЕВАЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА



Ветроэнергетическая установка для производства электроэнергии представляет собой ветродвигатель с вертикальной осью вращения, предназначенный для преобразования кинетической энергии ветра в механическую работу вращения вала, с дальнейшим преобразованием её в электрическую энергию при помощи электрогенератора, приводимого в действие ременной, зубчатой или иной передачей.

На рисунке показан общий вид ротора ветродвигателя, состоящего из вертикального вала 1, на котором жёстко закреплены опорные пластины 2, 3 и 4, между которыми установлены лопасти 5, 6, 7 и 8. Мощность данной ветроэнергетической установки зависит от скорости ветра и площади ометаемой поверхности ветроколеса и находится в пределах от 11,2 Вт до 11,2 кВт.



ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ВЭУ-1



- ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ (ВЭУ) МОЩНОСТЬЮ 1 КВТ Мощность генератора номинальная 1 кВт
- Выходное напряжение 220 В
- Номинальная частота 50 Гц
- Диапазон рабочих скоростей ветра 4.. 30 м/сек
- Количество лопастей из стекло-пластика 4 шт.
- Хорда лопасти (длина по горизонтальному разрезу) 300 мм
- Диаметр ветро-ротора (колеса) 2.3 м
- Высота ветро-ротора 3 м
- Ометаемая площадь 6.9 м
- Высота мачты 8-20 м
- Частота вращения 80-220 об/мин
- Номинальная частота вращения (скор.ветра 10.4 m/sec) 190 об/мин
- Расчетная скорость бурового ветра (ВЭУ падает) 40 м/сек (150 км/час)
- Диапазон рабочих температур воздуха -50. . . +40Град Цельсия
- Срок эксплуатации ВЭУ не менее 20 лет
- Время между плановыми тех.обслуживаниями 5 лет
- Масса ВЭУ без дизель-генератора и аккумуляторов 350 кг

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ (ВЭУ) МОЩНОСТЬЮ 3 КВТ (6 ЛОПАСТЕЙ)

Мощность генератора номинальная 3 кВт

Выходное напряжение 220 В

Номинальная частота 50 Гц

Диапазон рабочих скоростей ветра 4..30 м/сек

Количество лопастей из стекло-пластика 6 шт.

Хорда лопасти (длина по горизонтальному разрезу) 400 мм

Диаметр ветро-ротора (колеса) 3.4 м

Высота ветро-ротора 4.2 м

Ометаемая площадь 14.28 м

Высота мачты 8-20 м

Частота вращения 60-180 об/мин

Номинальная частота вращения (скор.вет 10.4 м/сек) 160 об/мин

Расчетная скорость бурового ветра (ВЭУ падает) 40 м/сек

Диапазон рабочих температур воздуха -50. . . +40 град.

Цельсия Срок эксплуатации ВЭУ не менее 20 лет

Время между плановыми тех.обслуживаниями 5 лет

Масса ВЭУ без дизель-генератора и аккумуляторов 560 кг

ВЭУ-3



ВЭУ-30

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ (ВЭУ) МОЩНОСТЬЮ

30 КВТ (6 ЛОПАСТЕЙ)

Мощность генератора номинальная 30 кВт

Выходное напряжение 380 В

Номинальная частота 50 Гц

Диапазон рабочих скоростей ветра 4.. 30 м/сек

Количество лопастей из стекло-пластика 6 шт.

Хорда лопасти (длина по горизонтальному разрезу) 950 мм

Диаметр ветро-ротора (колеса) 9.4 м

Высота ветро-ротора 12 м

Ометаемая площадь 112 м

Высота мачты 17 м

Частота вращения 25-60 об/мин

Номинальная частота вращения (скор.ветра 10.4 m/sec) 50 об/мин

Расчетная скорость бурового ветра (ВЭУ падает) 40 м/сек (150 км/час)

Диапазон рабочих температур воздуха -50. . . +40 град.

Цельсия

Срок эксплуатации ВЭУ не менее 20 лет

Время между плановыми тех.обслуживаниями 5 лет

Масса ВЭУ без дизель-генератора и аккумуляторов 8 тонн



У вертикальных установок три важнейших типа конструкций:

1) классические роторы Дарриуса.

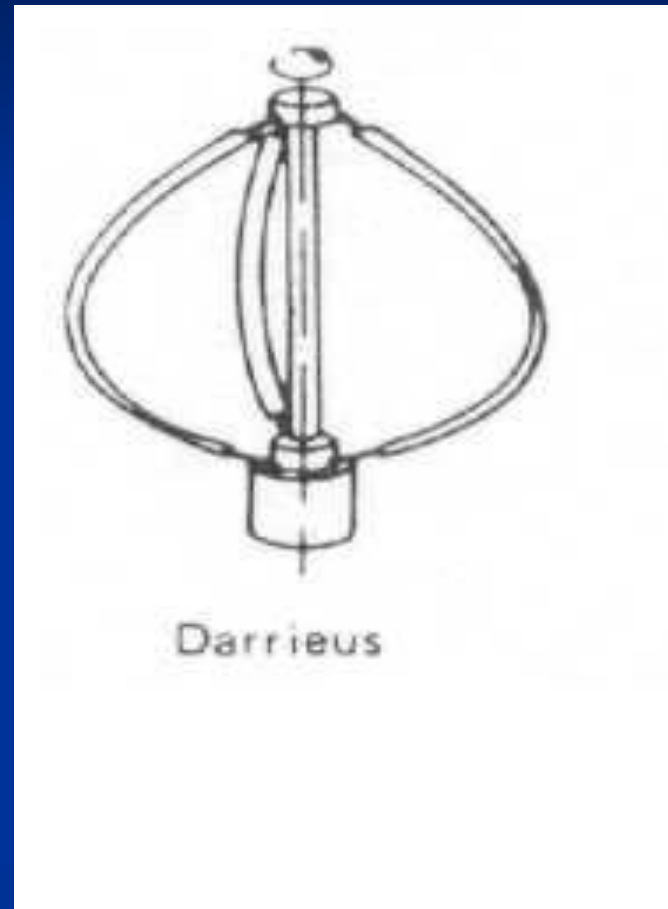
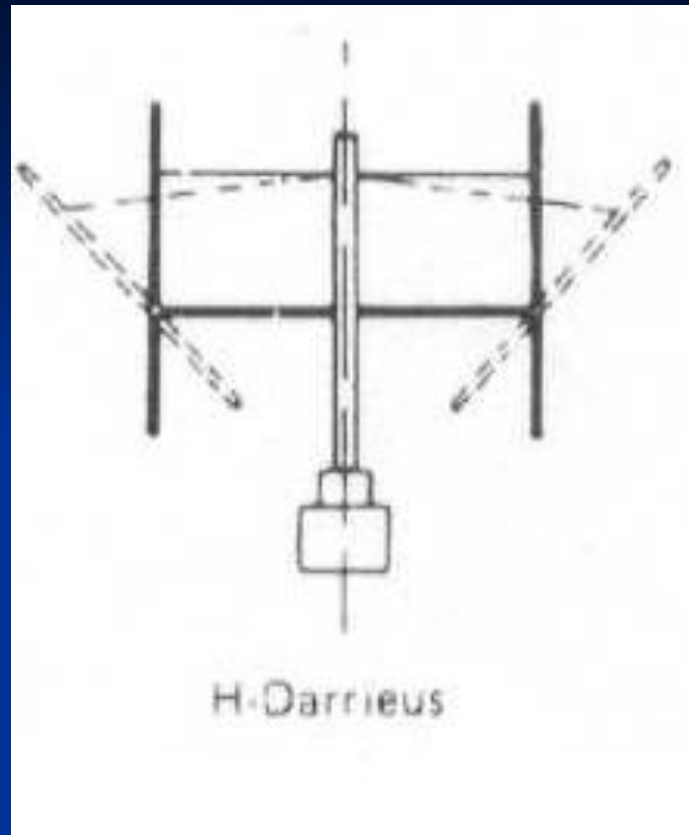


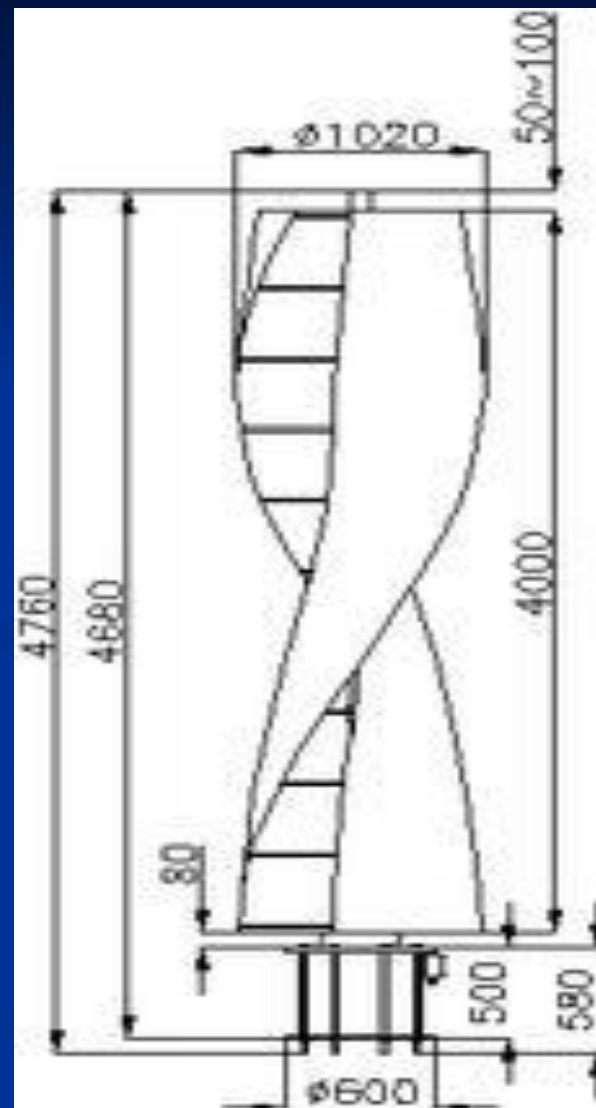
Рис. 22

2) H-образные роторы

3) HM-образный ротор.



ВЕТРОГЕНЕРАТОР ФИРМЫ WINDSIDE



ВЕТРОГЕНЕРАТОР ФИРМЫ WINDSIDE

Характеристики:	WS-4C	WS-4A
Номинальная мощность	20A/12 V	20A/12 V
Рекомендуемая мачта	дерево	металл
Начальная скорость ветра	1,5 м/с	1,9 м/с
Номин. скорость ветра	15 м/с	18 м/с
Скорость отключения ротора	Не установлена	Не установлена
Рабочая площадь	4 m ²	4 m ²
Вес лопасти	40 кг	40 кг
Полный вес турбины	700 кг	
Контроль скорости ротора	Не требуется	Не требуется
Котроль превышения скорости	Не требуется	Не требуется
Модель генератора	Windside	Windside
Конструкция ген-ра	С постоянными магнитами	С постоянными магнитами
Параметры генератора	1-400 V/12,24,48 V	1-400 V/12,24,48 V
Редуктор	Не имеет	Не имеет
Гл. тормозная система	Электронная	Электронная
Инвертор	Windside WGU-25/WGC-10	Windside WGC-10
Уровень шума	0 dB	0 dB

Британская архитектурная студия Grimshaw Architects,
совместно с фирмой Windpower Ltd. разработала
ветряную электростанцию — Aerogenerator.

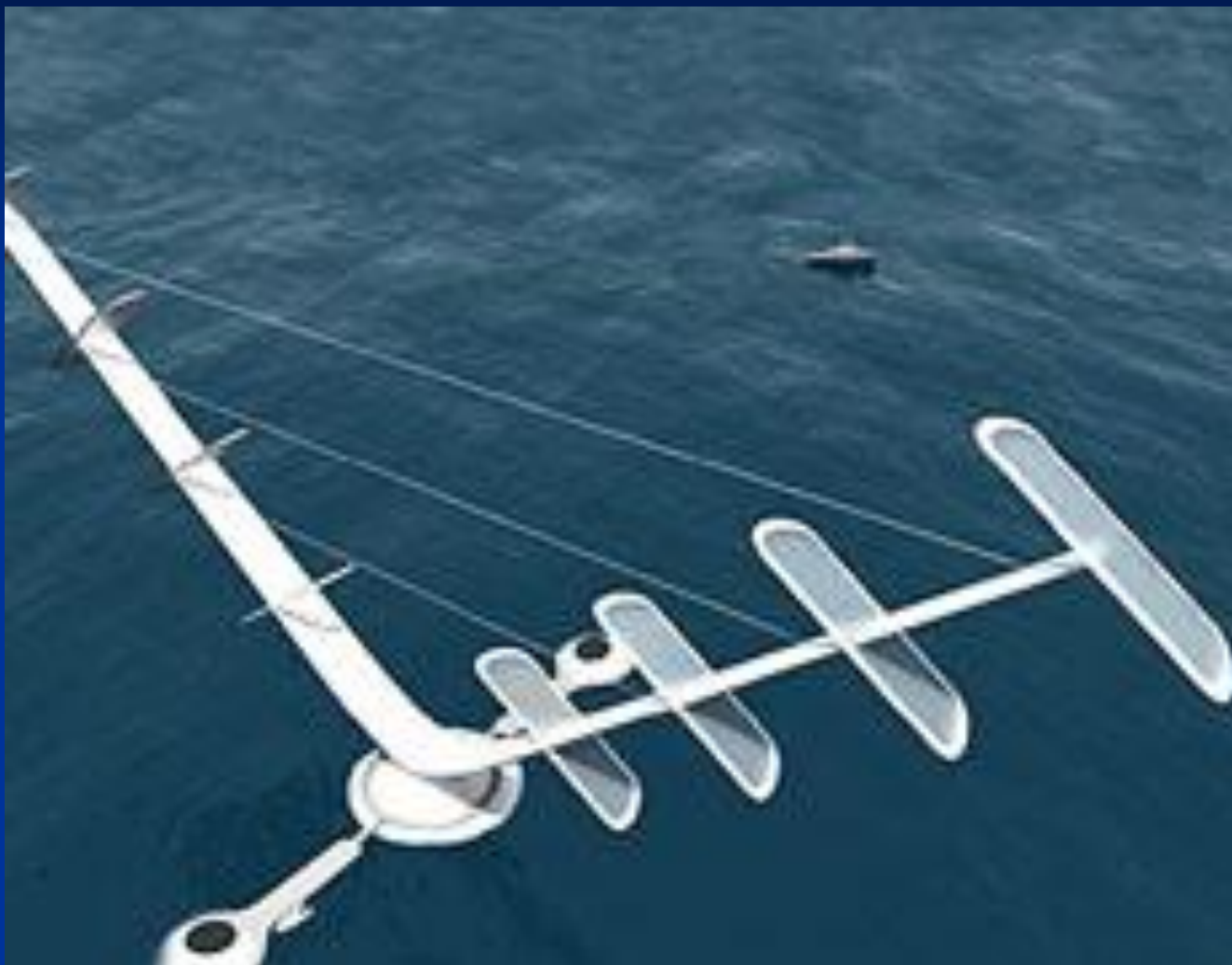


Рис. 26

УСТРОЙСТВО	МОЩНОСТЬ ВЭУ, КВТ				
	1.5	3	5	30	55
	ЦЕНА ТЫС. РУБ.				
Ротор с лопастями из стеклопластика и ступица	110	13 3	15 5	92 6	120 0
Обогрев лопастей и токосъемник	25	27	35	69	95
Генератор	90	96	11 6	75 0	900
Электронный преобразователь для генератора, выход 24, 48 или 96 В постоянного тока	36	48	58	13 50	156 0
Тормозной отсек	10	10	10	60	80
Мачта 12 м, труба (с растяжками)	63	63	63		
Мачта 16 м, труба (с растяжками)	81	81	81		
Мачта 20 м, труба (с растяжками)	99	99	99		
Мачта 12 м, ферма (без фундамента)	61	61	61		
Мачта 16 м, ферма (без фундамента)	78	78	78		
Мачта 20 м, ферма (без фундамента)	90	90	90		
Мачта 18 м, труба (с растяжками)				185 0	
Мачта 20 м, труба (с растяжками)					224 0

Комплект проводов	10	10	10	50	50
Шкаф электрический для электрооборудования 15	8	8	8	180	190
Молниеотвод	2	3	3	5	6
Инвертор с эл.коммутатором	20	22	32	600	800
Дизель-генератор, 220В/50Гц	37	55	75	600	800
Бензо-генератор, 220В/50Гц	18	24	35		
Система автоматического пуска дизель/бензо генератора	9	10	15	36	46
Аккумуляторная батарея, 1 шт (75-90 А-час)	3	3	3	3	3
Оценочная стоимость комплекта аккумуляторных батарей для ВЭУ	12	12	24	144	210
Приспособление для монтажа и обслуживания ветроустановки без крана	19 6	19 6	19 6		
Монтаж и подключение ветроустановки, % от стоимости ВЭУ	10	10	10	10	10
Обслуживание ветроустановки специалистами, раз в 1-2 года	4	4	4	8	8
Покраска лопастей в желаемый цвет или по эскизу (дизайн оговаривается)	4	5	6	15	19
<u>Система автоматического видеонаблюдения (мониторинга) за ВЭУ, базовая, на 1-2 видеорекамеры</u>	9	9	9	14	14
Рекламная модель ветроустановки (ротор 250x300 мм), самораскручивается, имеется привод от двигателя	15	15	15	15	15

Цены на комплектующие приведены без учета НДС и транспортных расходов на 01.03.2008

ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ НИИ «УРАЛМЕТ» И ООО «ГРЦ-ВЕРТИКАЛЬ»



Оптимальная форма лопасти



Аэродинамический расчет лопасти ветроколеса

Лопасты ветроколеса получают мощность от ветра, замедляя его. Они оказывают сопротивление ветру и ветер налегает на них с той же силой.



Тела в воздушном потоке создают силу, направленную против вектора скорости, называемую лобовым сопротивлением



Напор - сила ветра, направленная по направлению потока.

Силу напора часто называют силой лобового сопротивления. Пользуясь этим термином, не надо забывать, что сила лобового сопротивления на самом деле направлена в другую сторону, против ветра.

Сила напора использовалась в самых ранних ветряках. Легко представить себе, как эта сила заставляет двигаться щиты, но такие ветряки очень тихоходны и лопасти, которые перемещаются против ветра, противодействуют вращению. В аэродинамике сила напора правильно называется силой по скорости полета.

Но есть и другая сила, называемая 'подъемной силой' которая всегда направлена под прямым углом к направлению ветра.



Лопasti ветряка с горизонтальной осью не могут двигаться по направлению ветра, таким образом они не могут получить никакой пользы от силы напора. Вместо этого они используют подъемную силу.

Подъемная
сила

$$Y = c_y \frac{\rho S}{2} V^2$$

Сила напора

$$X = c_x \frac{\rho S}{2} V^2$$

Где:

ρ - плотность воздуха 1,29кг/м³

S - площадь лопасти м² ,

V - скорость набегающего потока м/с.

Подъемная сила и сила лобового сопротивления зависят от коэффициентов подъемной силы C_y и коэффициента лобового сопротивления C_x , которые в свою очередь зависят от примененного в лопасти профиля и угла атаки α , под которым поток ударяет в лопасть.

$$Z = L * W / (60 * V)$$

где:

W – частота вращения ветроколеса (об/мин.)

V - скорость ветра (м/с.)

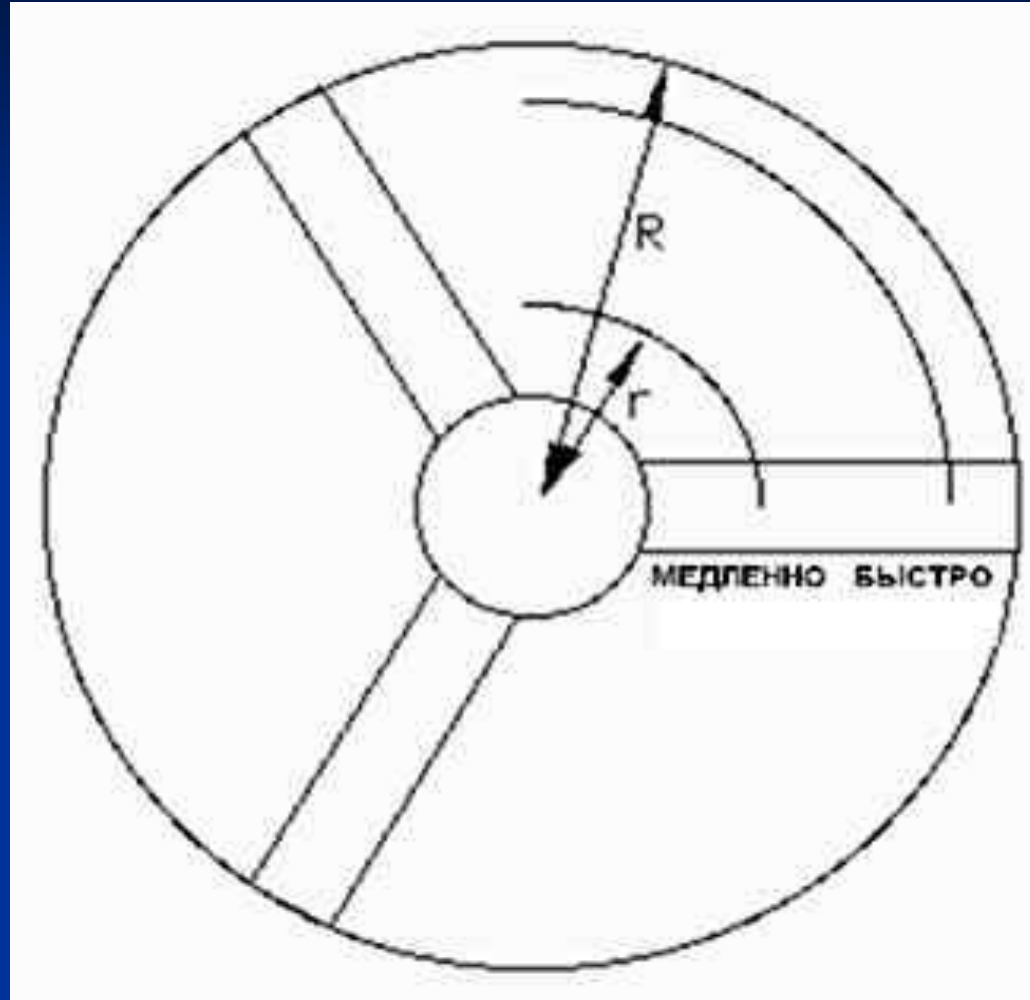
L - длина окружности (м.)

Z - быстроходность конструкции ветроколеса.

Обороты ветроколеса в зависимости от скорости ветра, диаметра и быстроходности (об/мин)

Диаметр ветроколеса (метры)	2	Скорость ветра м/с											
Ветроколесо	Z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1-лопастное	9	86	172	258	344	430	516	602	688	774	860	946	1032
2-лопастное	7	67	134	201	268	334	401	468	535	602	669	736	803
3-лопастное	5	48	96	143	191	239	287	334	382	430	478	525	573
6-лопастное	3	29	57	86	115	143	172	201	229	258	287	315	344
12-лопастное	1,2	11	23	34	46	57	69	80	92	103	115	126	138

4. Угол установки лопасти ветроколеса.



Изменение окружной скорости по длине лопасти.

Вычисление уточненного угла установки лопасти β .

$$\beta = \phi - \alpha$$

ПОСКОЛЬКУ

$$\operatorname{tg}(\phi) = \frac{\frac{2V}{3}}{\frac{r}{R}ZV} = \frac{2R}{3rZ}$$

Отсюда – угол установки:

$$\beta = \operatorname{arc\,tg} \frac{2R}{3rZ} - \alpha$$

ЛОПАСТЬ, РАССМАТРИВАЕМАЯ СО СТОРОНЫ КОНЧИКА

Окружная скорость больше около кончика лопасти (где $r = R$), чем около ступицы, поэтому угол ϕ изменяется.

Это значит, что идеальная лопасть должна иметь кривку

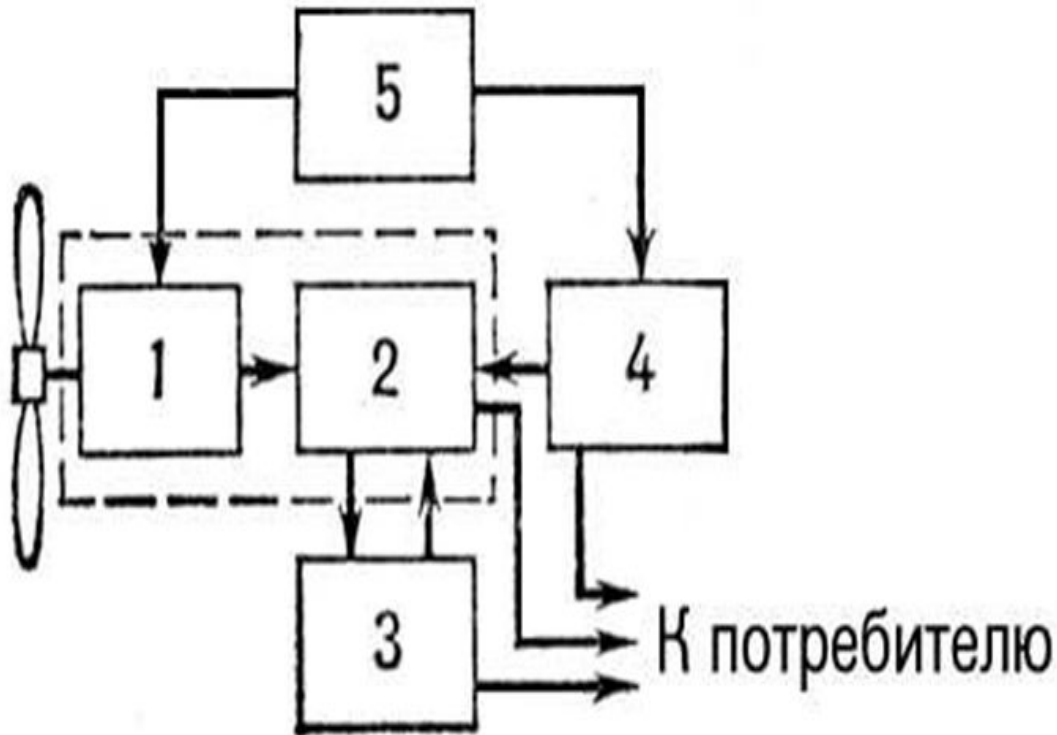


Поток воздуха проходит сквозь ротор со скоростью $(2/3)V$, согласно теореме Бетца

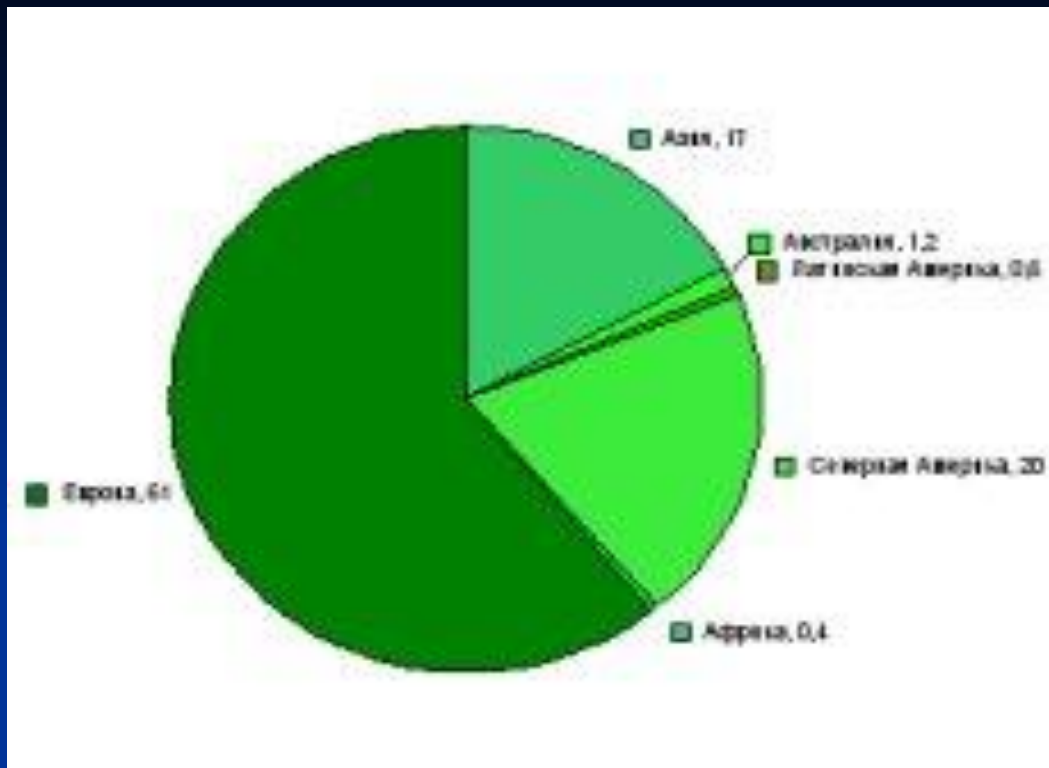
Преимуществом закручивания и сужения конца лопасти является быстрый старт, а также крепкость и массивность ступицы ветроколеса. К недостаткам относятся трудоемкость расчета и высокая цена.

Однако на практике много ветряков построены с применением не крученых лопастей с неизменной шириной по радиусу и постоянным углом установки. Как ни удивительно, но такое упрощение мало сказывается на эффективности ветряка.

*ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
СПОМОЩЬЮ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК*




Характеристики ветропарков



*Введенные ветряные мощности в мире
(Источник - WWEA)*

В Европе сконцентрировано 61 % установленных ветряных электростанций, в Северной Америке 20 %, Азии 17 %.

В 2007 г. наибольшее число ветряных установок внедрили США. Инвестировав \$9 млрд., американцы увеличили свой парк ветряных электростанций на 45%, или на 5,2 ГВт. Второе место заняла Испания (3,5 ГВт), третье — Китай (3,4 ГВт). Европейские страны, генерирующие 61% мировой ветряной энергии, нарастили производство на 17% (8,5 ГВт).



Но по итогам 2007 года Германия продолжает удерживать позицию «страны-лидера», имея в своем активе 22,7 МВт общей установленной ветроэнергетической мощности.

Следует признать, что Германия и Индия, оставшись в числе ведущих ветроэнергетических рынков мира, все же поступились своими позициями в области введения в строй новых мощностей, установив за год 1.6 МВт и 1.5 МВт соответственно.

Немецкий морской ветропарк



В Северном море, в 45 км от острова Боркум, принадлежащего Германии, построен единственный в мире морской ветропарк. 12 генераторов, установленных на 30-метровой глубине. Мощные турбины приводятся в действие шквальными ветрами, бушующими здесь большую часть года. Ветропарк Alpha Ventus является совместным проектом концернов EWE, Eon и Vattenfall. Шесть из 12 агрегатов начали работу в августе этого года, а последний будет запущен в ближайшие полтора месяца. Стоимость проекта составила €250 млн.

Офшорный ветропарк Horns Rev II



Комплекс находится в Северном море, в 30 км от западного побережья Ютланда. Он состоит из 91 ветрогенератора, размах лопастей каждого из которых составляет 93 метра.

Самый крупный в мире ветропарк занимает площадь размером 35 кв. км и способен производить более 200 МВт чистой энергии. По планам, этой электроэнергии должно быть достаточно для того, чтобы в течение года обеспечить 200 тысяч домов.

Отметим, что глубина моря на месте, где расположен ветропарк, составляет от 9 до 17 метров при средней скорости ветра около 10 м/с. Стоимость проекта составила

1 миллиард долларов.

Заметим, что строительство ветряных электростанций в открытом море экономически целесообразно. Ведь сила ветра на море на 50% выше, чем на суше. Дания в этом направлении движется уже не первый год. В 2003 году на юге Дании появилась ветроэлектростанция Нествед с 72 турбинами на 2,3 МВт. Стоимость проекта составила 262 млн долларов. Станция успешно работает и по сей день, производя около 165 МВт.

Не менее успешно функционирует и предшественница нового ветропарка – Horns Rev I. Она насчитывает 80 турбин, каждая из которых дает 2 МВт. На данный момент в Дании энергией ветра покрывается 21% потребностей в электроэнергии.

Это, несомненно, очень высокий показатель.





В Ляэнеском уезде Эстонии, мощнейший в странах Балтии ветропарк «Аулепа». Мощность ветропарка составляет 39 МВт. Ветропарк состоит из 13 ветряков, мощность производства электроэнергии каждого — 3 МВт. Годовая продукция ветропарка «Аулепа» — около 100 ГВтч электроэнергии - 1,3% от конечного потребления электроэнергии в Эстонии. Такое количество электроэнергии в год в стране потребляет примерно 35 тыс. семей. Стоимость составляла примерно 900 миллионов крон.

Horse Hollow Wind Energy Center

Эта расположенная в США ветровая электростанция считается крупнейшей в мире. В ее состав входит 421 ветрогенератор, максимальная совокупная мощность которых достигает 735 МВт. Horse Hollow находится в Техасе, она занимает площадь в 190 квадратных км.



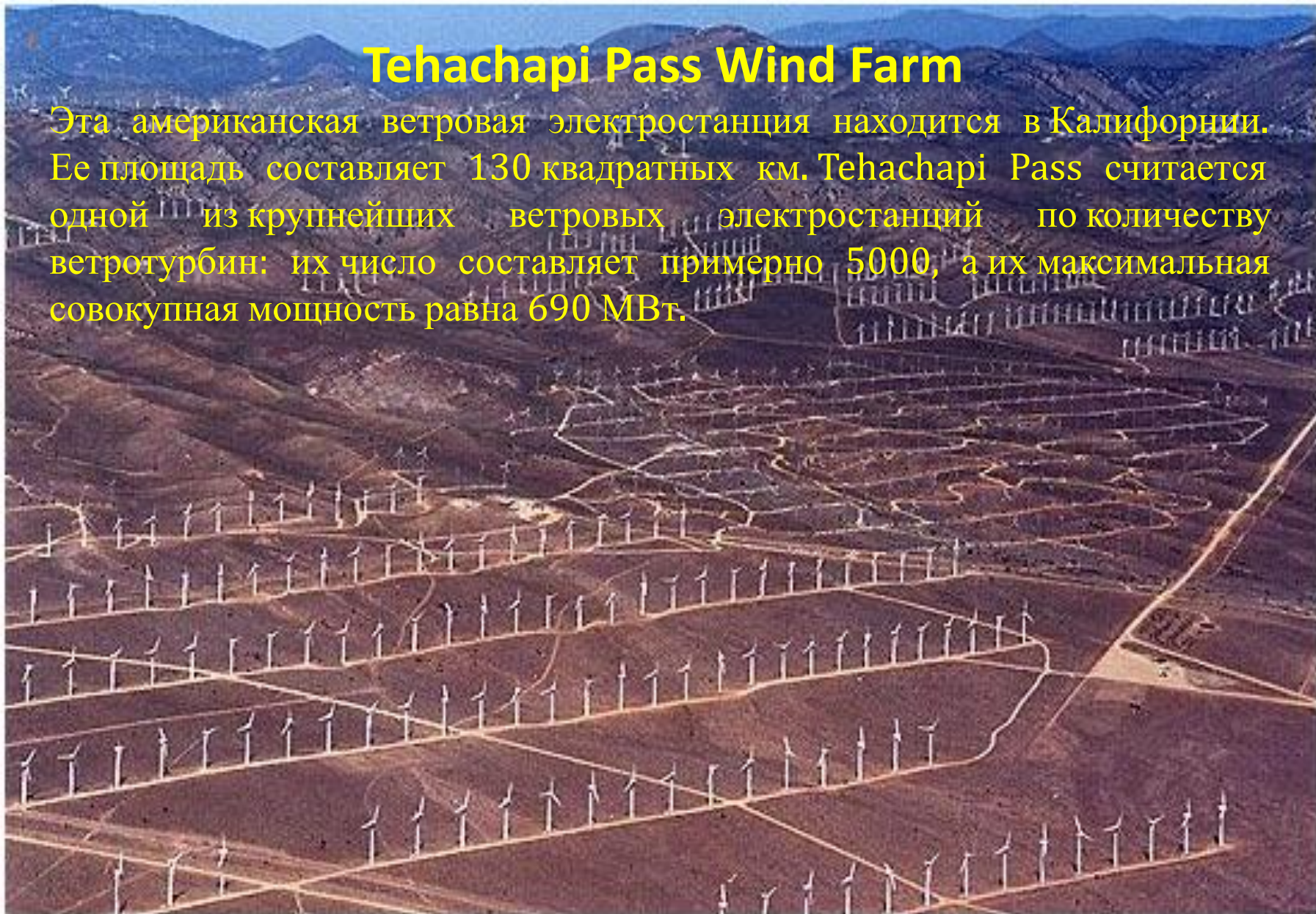
Fowler Ridge Wind Farm

Это еще одна американская ветровая электростанция. Она находится в штате Индиана, в 90 милях от его столицы — Индианаполиса. Ее заявленная мощность составляет 750 МВт, однако вторая фаза установки ветротурбин началась лишь в этом году. За время первого этапа было установлено 222 ветрогенераторов, общая мощность которых достигает 400 МВт.



Tehachapi Pass Wind Farm

Эта американская ветровая электростанция находится в Калифорнии. Ее площадь составляет 130 квадратных км. Tehachapi Pass считается одной из крупнейших ветровых электростанций по количеству ветротурбин: их число составляет примерно 5000, а их максимальная совокупная мощность равна 690 МВт.



Одна из самых больших ветроэлектростанций России расположена в районе поселка Куликово Зеленоградского района. Её среднегодовая выработка составляет около 6 млн кВт·ч. Мощность составляет 5,1 МВт. И состоит из 21 ветроустановки.



На Чукотке действует Анадырская ВЭС мощностью 2,5 МВт со среднегодовой выработкой более 3 млн кВт·ч, параллельно станции установлен ДВС, вырабатывающий 30 % энергии установки. Включает 10 ветроагрегатов.



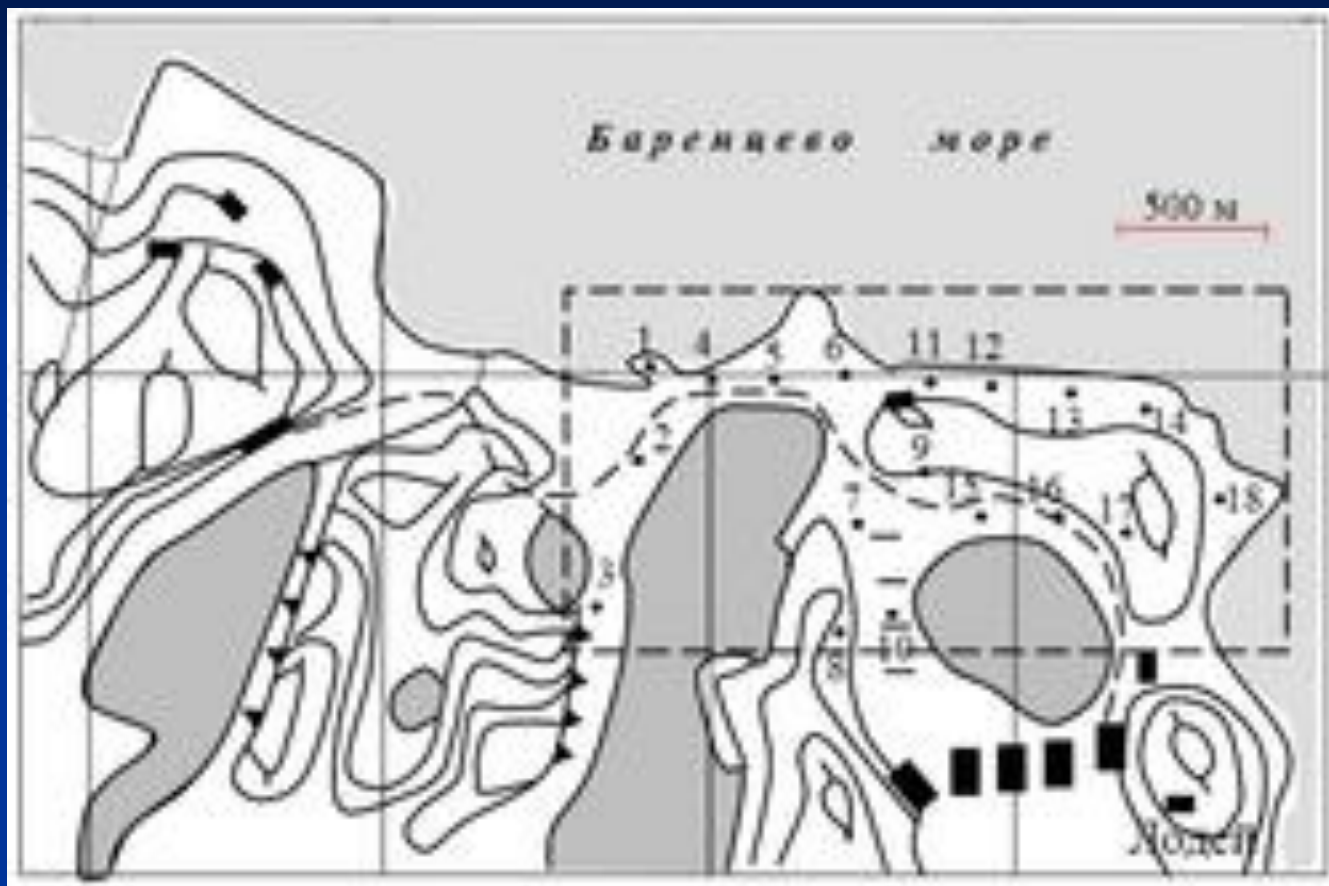
Также крупные ветро-электростанции расположены у деревни Тюпкильды р. Башкортостан (2,2 МВт). В Калмыкии в 20 км от Элисты размещена площадка Калмыцкой ВЭС мощностью в 22 МВт и годовой выработкой 53 млн кВт·ч, на 2006 на площадке установлена одна установка «Радуга» мощностью 1 МВт и выработкой от 3 до 5 млн кВт·ч.

В республике Коми вблизи Воркуты строится Заполярная ВЭС мощностью 3 МВт. На 2006 действуют 6 установок по 250 кВт, общей мощностью 1,5 МВт. На острове Беринга действует ВЭС мощностью 1,2 МВт.

В Цимлянском районе Ростовской области установлена Маркинская ВЭС мощностью 0,3 МВт. В Мурманске действует установка мощностью 0,2 МВт.



Перспективные площадки для ветропарков





ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ НА ЭКОЛОГИЮ.

АКУСТИКА.

Шум в основном производят вращающиеся лопасти и работающие механические части ВЭУ, в первую очередь коробки передач. Из-за того, что шум, по существу, является признаком неэффективности, а также из-за многих жалоб, производители ветротурбин уделили этому вопросу первостепенное значение. В результате - за последние пять лет им удалось значительно понизить уровень шума, производимый работающими ВЭУ. Критическим считается уровень шума в 40 децибел, но если рассматривать шум как помеху для сна, то, естественно, этот уровень должен быть ниже. Допустимый уровень обычно достигается на расстоянии около 250 м от установленной ВЭУ. Тем не менее, вопрос отношения к шуму является и чисто психологическим; владелец машины, возможно, воспринимает шум, производимый работающим агрегатом как признак процветания, в то время как его соседи могут быть раздражены вторжением в "их пространство".

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗЕМЛИ.

ВЭУ должны быть отделены друг от друга, по меньшей мере, расстоянием, равным высоте пяти - десяти башен. Это расстояние позволяет потоку ветра восстанавливаться, а турбулентность, созданная работой ротора одной ВЭУ, не влияет на работу соседней ВЭУ, находящейся в подветренной стороне. Соответственно, получается, что только 1% земли, занятой под ВЭС, реально используется под установку башен и под подъездные пути. Чем выше и мощнее ВЭУ, тем большее расстояние необходимо между соседними ВЭУ. Мегаваттные машины должны быть разделены расстоянием в полтора километра. Территория между ВЭУ не может использоваться ни под строительство зданий, ни под лесоводство.



Рис. 43

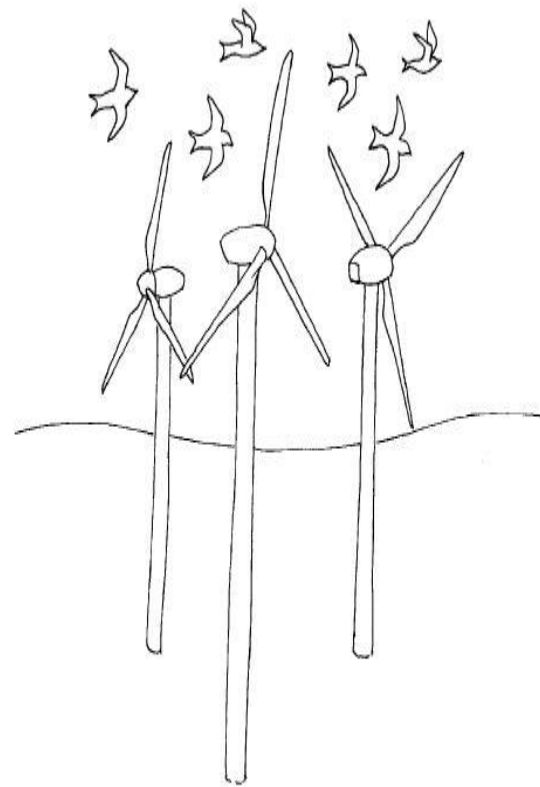
ЗРИТЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ.

На равнинной местности ВЭУ всегда видны с дальнего расстояния. Необходимость в большом расстоянии между ВЭУ означает, что ветряки потенциально могут быть видны с расстояния в десятки километров. Однако на таких расстояниях для большинства людей вид на ВЭС будет "закрыт" разными строениями, деревьями, холмами. Чаще всего на ВЭУ обращают внимание проходящие или проезжающие мимо люди и летчики. Для последних существует опасность столкновений с ВЭУ во время низкого полета. Визуальное воздействие офшорных ВЭС в полной мере пока еще не определено.



СТОЛКНОВЕНИЕ С ПТИЦАМИ.

ВЭУ редко вредят птицам. Наблюдения, проведенные в западной части Дании, где установлена турбина мощностью 2 МВт, имеющая ротор диаметром 60 м, показали, что птицы изменяли маршрут своего полета на расстоянии 100-200 м до установленной ВЭУ, пролетая над ней на безопасном расстоянии. В Дании есть несколько видов птиц, которые полюбили гнездиться на башнях ВЭУ. Единственная территория, печально известная из-за проблем с птицами, находится в районе каньонов в штате Калифорния. "Стена ветра", образованная турбинами, установленными на башнях решетчатого типа, буквально перекрыла выход из каньона. И как результат - было зафиксировано несколько случаев гибели птиц из-за столкновения с ВЭУ.



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОМЕХИ.

Проводники электрического тока могут создавать помехи в работе телевизионных, радио и радарных установок. Металлические части вращающихся лопастей могут оказывать волновое воздействие на сигналы. Установить ретрансляторы для телевизионных и радио сигналов несложно, однако это не очень дешево. Помехи, возникающие на радарных установках, пока в значительной степени еще не доказаны, но они в большей степени относятся к сфере интересов военных. Тем не менее, ВЭУ стали современной реальией сегодняшнего дня, и военным во всем мире также нужно с этим считаться. Существует много ВЭС, расположенных вблизи аэродромов, и никаких существенных проблем не возникает.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ.

Хотя работа ВЭУ не оказывает прямого негативного воздействия на окружающую среду, косвенное влияние оказывает процесс сооружения ветроагрегатов на участке, производство и транспортировка материалов и оборудования. Это, однако, не является основной проблемой, так как экологический ущерб от ветроэнергетики неизмеримо меньше ущерба от использования ископаемых видов топлива для получения энергии.

Новые перспективные
разработки
ветроэнергетики в мире

То, что будущее энергетики лежит в использовании возобновляемых источников энергии, понимает сегодня любой думающий специалист. Но ветроэнергетика развита только в нескольких странах, (например, в Германии, Дании, Испании до 20% электроэнергии дают ВЭУ). Россия, обладающая огромными ветроресурсами в ряде своих территорий, находится на начальном этапе внедрения ВЭУ.



Новые идеи альтернативной энергетики



Ветроэнергетика, как один из перспективных видов альтернативной энергетики, поднимается на новые ступени своей эволюции. Начала она свой путь развития с деревянных крыльев крестьянских мельниц, и пришла к супервысокотехнологичным ветрякам наших дней. Ветроэнергетика не ушла в тень новомодных технических разработок по переработке водорослей и популярной своими будущими возможностями термоядерной энергетики. Она по-прежнему находится в зоне инженерных интересов, выдающих время от времени весьма оригинальные, но действующие разработки

Перспективные разработки ВЭУ

ВЭУ

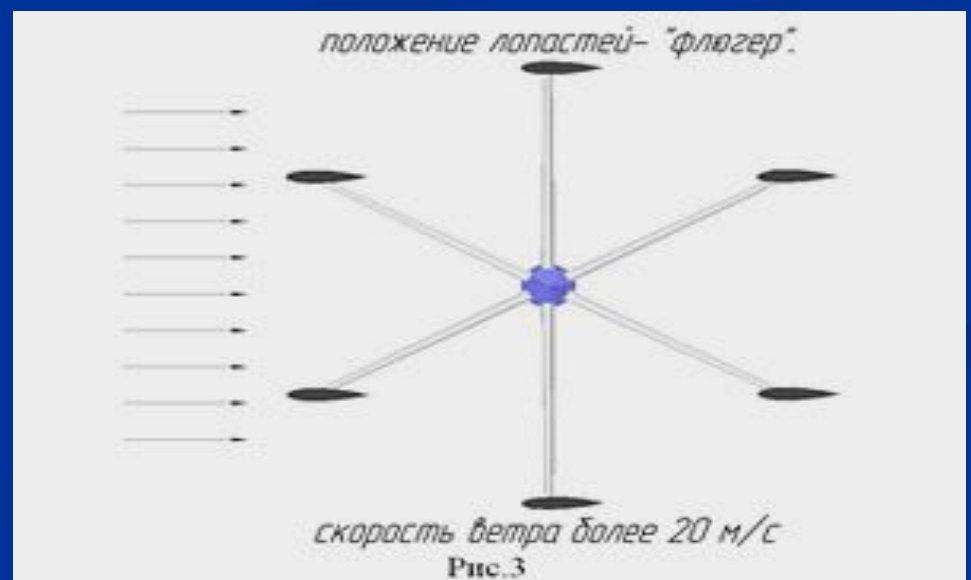
ВЭУ
с вертикальной
осью
вращения

Униполярный
генератор
постоянного
тока

ВЭУ
С повышением
2-4 раза
удельных
показателей

1. ВЭУ с вертикальной осью вращения

- Рабочие лопасти воспринимают энергию ветропотока. Их форма и геометрические размеры определяют как КПД установки, так и её экологические характеристики (шум). И если они для ВЭУ с горизонтальной осью вращения отработывались десятилетиями и достигли высоких параметров, то для ВЭУ с вертикальной осью вращения их оптимальные характеристики пока неизвестны.



а) ВЭУ с горизонтальной осью вращения

- Применяемые в настоящее время ВЭУ с горизонтальной осью вращения ветротурбины хорошо технически отработаны (используя опыт авиационной техники), имеют достаточно высокий КПД, но довольно сложны конструктивно и имеют ряд существенных недостатков. Дело в том, что ветер часто меняет не только свою скорость, но и направление. Поэтому все ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения имеют специальный механизм, обеспечивающий постоянный поиск направления ветра и установку вдоль его направления оси вращения ветротурбины. Наличие такого механизма резко усложняет ВЭУ. Кроме того, при работе ВЭУ в плоскости вращения рабочих лопастей возникает низкочастотный шум (инфразвук широкого спектра), отрицательно влияющий как на животный, так и на растительный мир и являющийся вредным, а нередко и опасным, для человека.

б) ВЭУ с вертикальной осью

вращения

Альтернативой ВЭУ с горизонтальной осью вращения ветротурбины могут стать ВЭУ с вертикальной осью вращения. Им безразлично направление ветра, поэтому можно создать простую в производстве и эксплуатации конструкцию, не требующей механизма поиска направления ветра. Введение механизма поворота лопастей в положение «флюгер», устранит возможность их поломки от сильных порывов ветра. А после определённого объёма экспериментально-доводочных работ по определению оптимальных геометрических размеров рабочих лопастей возможно создание бесшумных ветрогенераторов с высоким КПД. Однако на сегодняшний день данные о проведении серьёзных исследований в этой области в России. При достаточной заинтересованности со стороны государства можно разработать, изготовить и начать промышленную эксплуатацию перспективных ВЭУ с вертикальной осью вращения в течение 3...5 лет. Учитывая географическое расположение нашей страны, огромные территории, богатые ветроресурсами, отечественная ветроэнергетика через 15...20 лет может стать серьёзным поставщиком электроэнергии в энергетику не только России, но и соседних с нами стран.

Преимущества ВЭУ с вертикальной осью вращения

- **оптимизация формы рабочей лопасти для обеспечения высокого КПД ветротурбины и снижение уровня шума (резервы есть).**
- **введение механизма-автомата для поворота рабочей лопасти в положение «флюгер» при скорости ветра более 20 м/сек для уменьшения её «парусности» ~ в 8...10 раз.**
- **введение магнитного подвеса для каждой рабочей лопасти и ротора в целом для увеличения механического КПД ветротурбины, надёжности и ресурса**
- **применение специального тихоходного генератора, ротор которого кинематически жестко связан с ротором ВЭУ (без использования в трансмиссии мультипликатора) для исключения необходимости в периодическом обслуживании.**

2. Униполярный генератор постоянного тока

- Известно, что к устройствам, преобразующим энергию ветра, предъявляются требования по регулированию скорости вращения ветроколеса для обеспечения равномерности подачи и сохранения уровня выдаваемого напряжения. В этом устройстве многовитковость генератора обеспечивается весьма важной новизной – в электрическую цепь неподвижной обмотки якоря введено тело магнитопровода с созданием множества параллельных ветвей, а сама электросхема становится последовательно-параллельной, то есть многовитковой. Отсутствие колебательной по величине и переменной по направлению электродвижущей силы, с обеспечением постоянства получаемого напряжения, позволяет использовать для изготовления якорной обмотки не дорогой цветной металл, а ферромагнитный сплав, что существенно удешевляет стоимость изготовления генератора. КПД новых устройств генераторов не ниже 0,95. Мощность генераторов не менее 100 кВт, напряжение – до 1000 в. Мощность еще одного разработанного нами генератора – до 10000 кВт, а напряжение – до 10 кв.

3. ВЭУ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ПОВЫШЕННЫМИ В 2...4 РАЗА УДЕЛЬНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Дата	Октябрь 2009
Краткая содержательная характеристика разработки	Суть инновации: повышение в 2...4 раза удельных показателей по токоотдаче, повышение КПД до 0,8 ...0,95 (вместо 0,45...0,55 у существующих ВЭУ), снижение в несколько раз минимальной частоты начала токоотдачи, увеличение надежности и ресурса за счет бесщеточного исполнения генераторов и новой конструкции и схемы, снижение веса и габаритов. Эффективность технологии: возможность создания в тех же габаритах генераторов с большим в 2...4 раза током отдачи, удобство в установке и обслуживании.
Степень готовности	Стадия разработки технологии: разработаны, изготовлены и испытаны образцы генераторов и ВЭУ, подтвердившие свою эффективность
Требуемый объем инвестиций(в рублях)	45...90 млн.руб.
Срок окупаемости проекта	Не более года с момента начала производства.