

Лекция № 2

«Ветроэнергетика»

Содержание

- **Ветроэнергетика (ВЭ). Основные понятия и определения**
- **Источники энергопотенциала**
- **География ВЭ и ее ресурсы**
- **Основные характеристики ветра**

Ветер

Ветер - в метеорологии - движение воздуха относительно земной поверхности.

Ветер возникает в результате неравномерного распределения атмосферного давления и направлено от области высокого давления к низкому.

Ветер характеризуется скоростью и направлением.

Скорость ветра измеряется

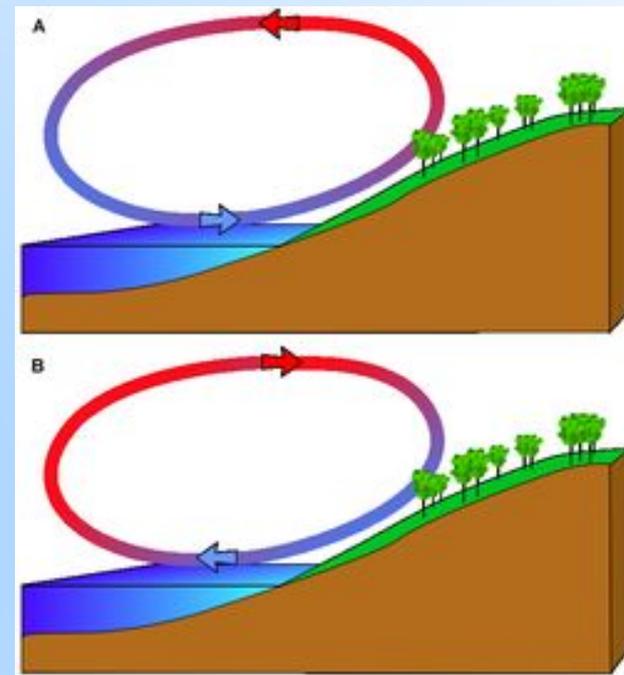
В:

- метрах в секунду (м/с)
- километрах в час (км/ч)
- узлах
- баллах по шкале Бофорта от 0 до 12



**1 м/с = 3,6 км/ч
= 1,94 узла**

Термины и определения



Сила ветра по шкале Бофорта и ее влияние на ВЭУ

Баллы Бофорта	Скорость ветра, м/с	Характеристика ветра	Наблюдаемые эффекты действия	Воздействие ветра на ВЭУ	Условия работы ВЭУ при средней 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		
3	3,6 - 5,8	Слабый	Колеблются листья на деревьях, на отдельных волнах появляются барашки (гребни)	Вращаются тихоходные ветроколеса	Удовлетворительные для насосов и некоторых ВЭУ
4	5,8 - 8,5	Умеренный	Колеблются тонкие ветви деревьев, на воде много барашков	Начинают вращаться колеса ВЭУ	Хорошие для ВЭУ
5	8,5 - 11	Свежий	Начинают раскачиваться лиственные деревья, все волны в барашках	Мощность ВЭУ - 30% проектной	Очень хорошие
6	11 - 14	Сильный	Раскачиваются большие ветки деревьев, гудят телефонные провода, пенятся гребни волн	Мощность близка к максимальной	Приемлемы для прочных малых ВЭУ
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 ВЭУ начинает отключаться	Недопустимые
9	21 - 25	Шторм	Небольшие разрушения, срываются дымовые трубы	Все ВЭУ отключаются	
10	25 - 29	Сильный шторм	Значительные разрушения, деревья вырываются с корнем	Предельные нагрузки	
11	29 - 34	Жестокий шторм	Широкомасштабные разрушения	Повреждения некоторых ВЭУ	
12	>34	Ураган	Опустошительные разрушения	Серьезные повреждения ВЭУ	

Направление ветра



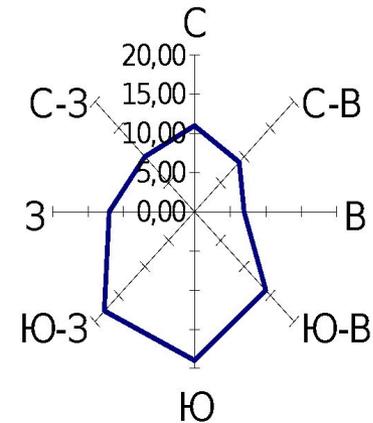
1 румб = 45°

Направление ветра определяется той стороной горизонта, с которой дует ветер и измеряется в:

- градусах
- румбах:

С, СЗ, З, ЮЗ, Ю, ЮВ, В, СВ

Направление зависит от распределения давления и от отклоняющего действия вращения Земли (силы Кориолиса).



«Роза ветров»



Классификация местных ветров по происхождению:

- **бризы; горно– долинные ветры; ледниковые ветры и др.**

Местные циркуляции связанные с особенностями в нагревании земной поверхности

- **фены, боры, сармы и др.**

Ветры этого типа связаны с течениями общей циркуляции атмосферы, проходящими над горным массивом.

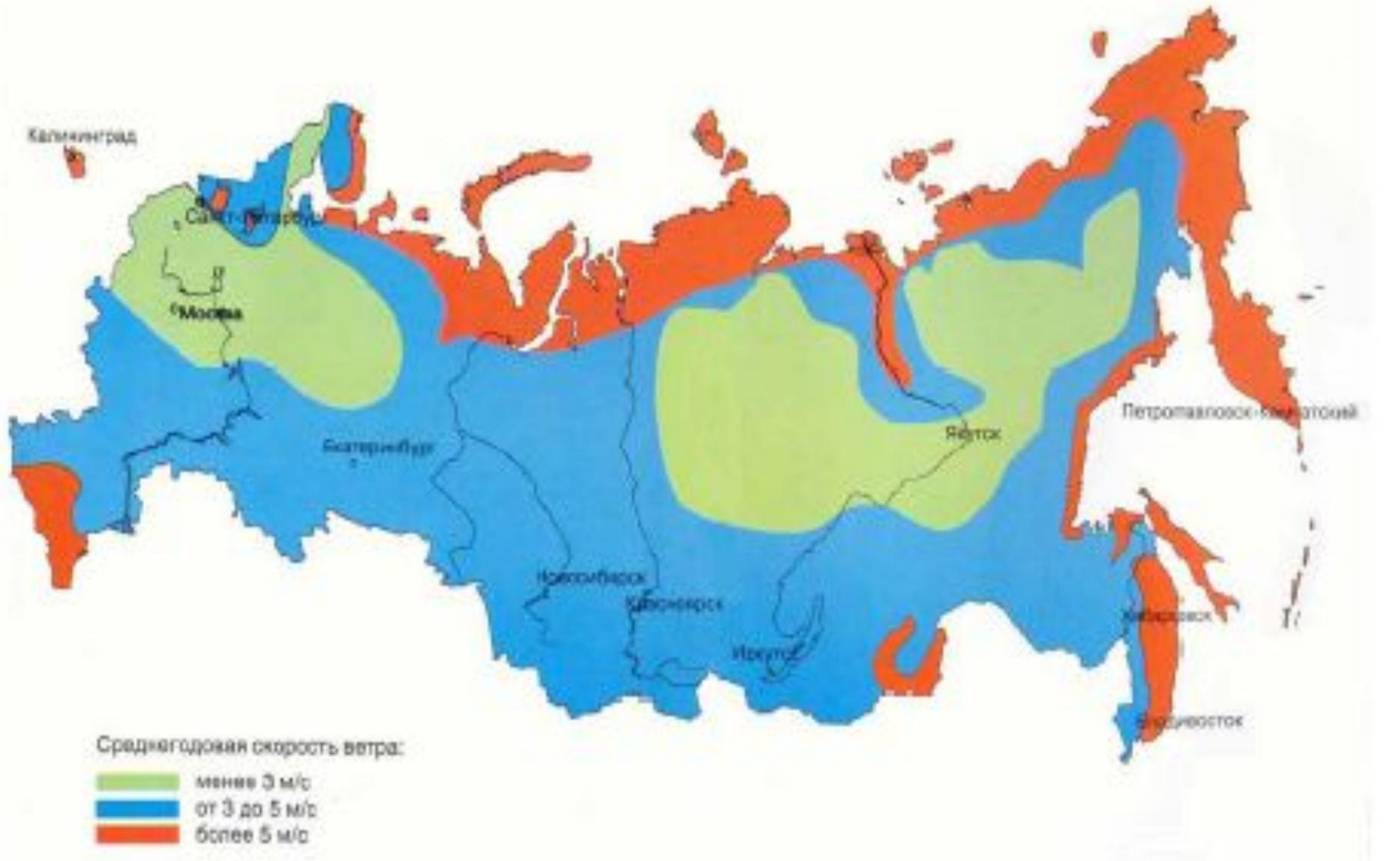
- **афганец, урсатьевский ветер и др.**

Ветры, связанные с течениями общей циркуляции атмосферы, но без нисходящей составляющей, а топографически усиленные в данном районе.

- **суховеи** (юг Европейской части России), **сирокко** (Средиземноморье), **хамсин** (Египет), **харматтан** (Западная Африка), **пурга** (Азия) и др.

- **многочисленные пыльные вихри, шквалы, пыльные и песчаные бури и др.**

Ветровые ресурсы России



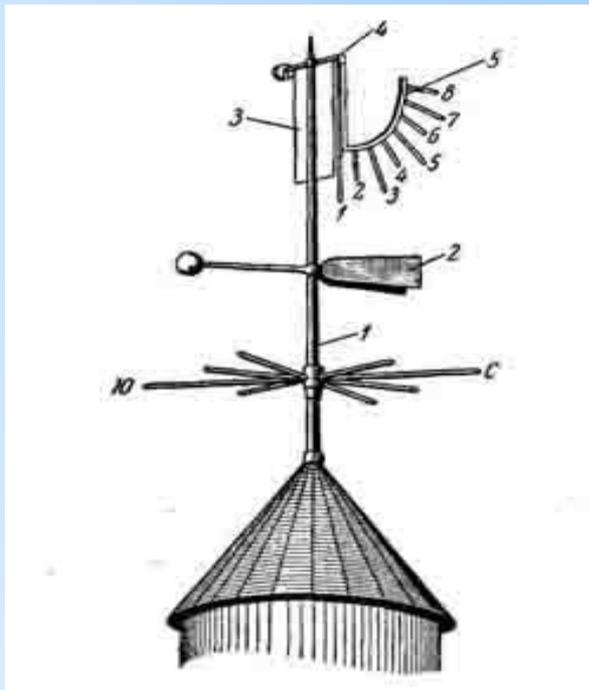
Распределение ресурсов ветровой энергии по регионам России

Название округа	Площадь, тыс. км ²	Теоретический потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
		млрд. кВт. ч/год,		
Центральный	652,8	30347,4	607,0	3,035
Северо-Западный	1677,9	173033,7	3460,7	17,303
Южный	589,2	71423,5	1428,5	7,142
Приволжский	1035,9	94502,0	1890,0	9,450
Уральский	1788,9	646794,7	12935,9	64,679
Сибирский	5114,8	605192,0	12103,8	60,519
Дальневосточный	6215,9	987761,9	19755,2	98,776
Россия в целом	17075,4	2609055,0	52181,0	260,906

Измерительные приборы

- Анемометры – измерение скорости ветра в м/с
- Флюгеры – измерение направления ветра в град.

В сутки фиксируется восемь значений скорости и направлений ветра.



Флюгер Вильда

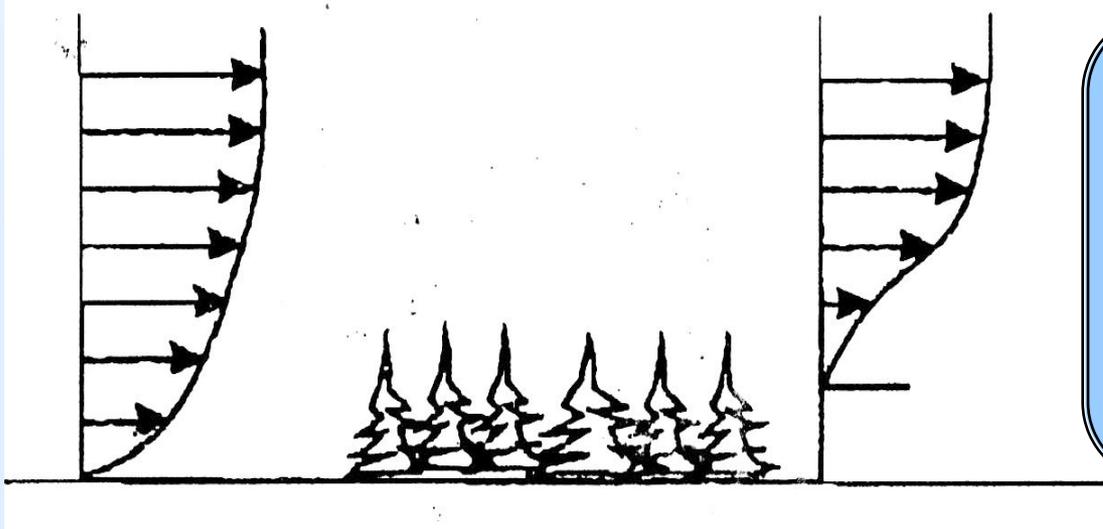


Чашечный
анемометр

Особенности использования энергии ветра

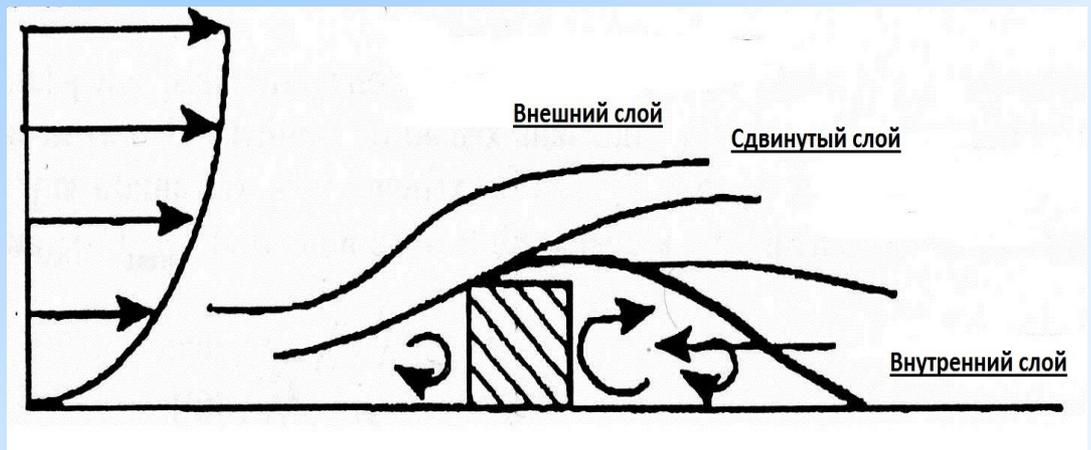
Неравномерность во времени	Необходимо предусматривать <u>системы аккумуляции энергии</u> и/или <u>резервные источники питания</u>
Низкая плотность потока энергии	Из-за низкой плотности и сильной зависимости от скорости ветра (V^3) приходится <u>увеличивать размеры ветротурбин</u>
Экологически чистая энергия	При производстве электроэнергии от ветротурбин <u>нет вредных выбросов</u>
Занимает немного места	ВЭУ занимают немного места, хорошо вписываются в ландшафт и <u>сочетаются с другими видами землепользования</u>
Децентрализованное энергоснабжение	Часто использование энергии ветра является <u>лучшим решением для удалённых потребителей</u>

ВЛИЯНИЕ ПРЕПЯТСТВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ВЕТРА

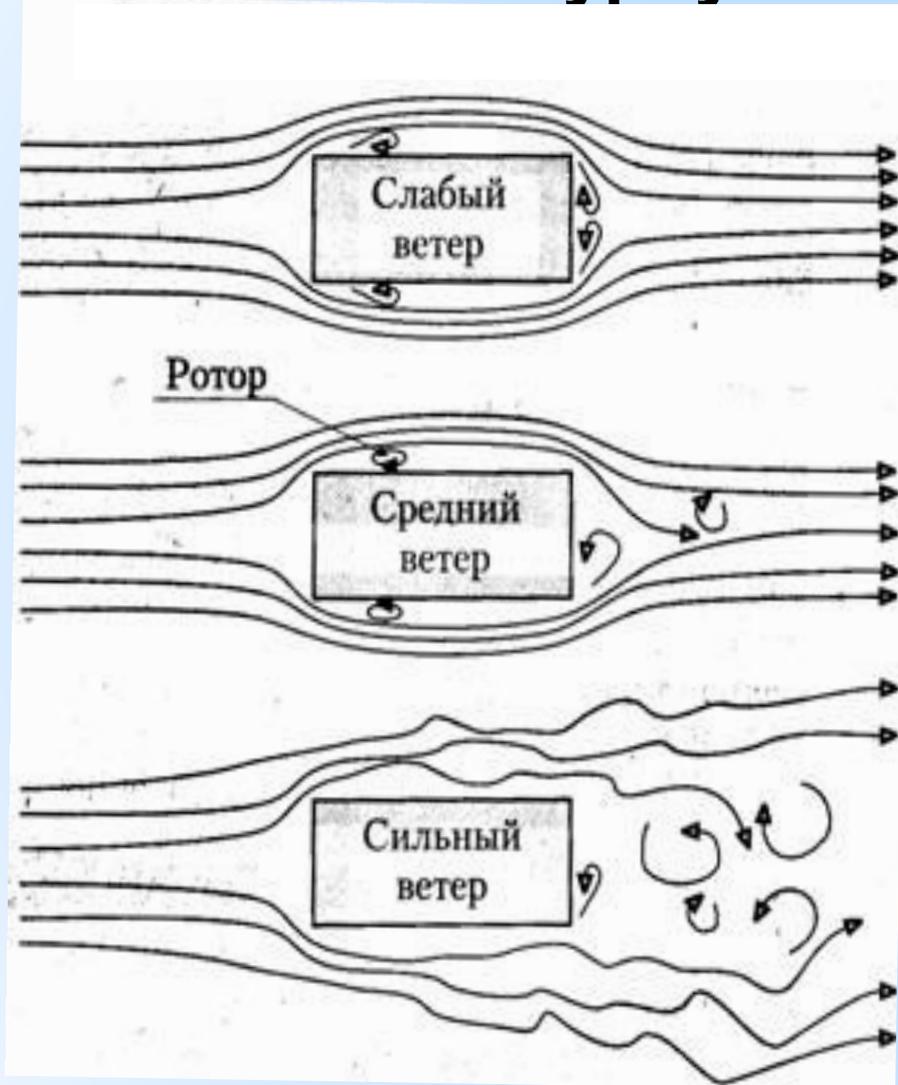


Влияние лесистой местности ($Z_0 \approx 50$ см) на формирование воздушного потока при переходе от гладкой поверхности к шероховатой

Схематическое преобразование ветрового потока над прямоугольным препятствием



Зависимость турбулентности от силы ветра



За препятствием часть воздушного потока отделяется от основного воздушного потока и образует *внутренний турбулентный слой*, сила и размеры которого во многом определяются размерами и формой обтекаемого объекта, а также скоростью потока перед препятствием.

На изменение ветрового потока за препятствием также оказывает влияние состояние стабильности атмосферы. При очень устойчивой стратификации атмосферы влияние препятствия можно проследить за препятствием на расстоянии, равном его 30–50–кратной высоте.

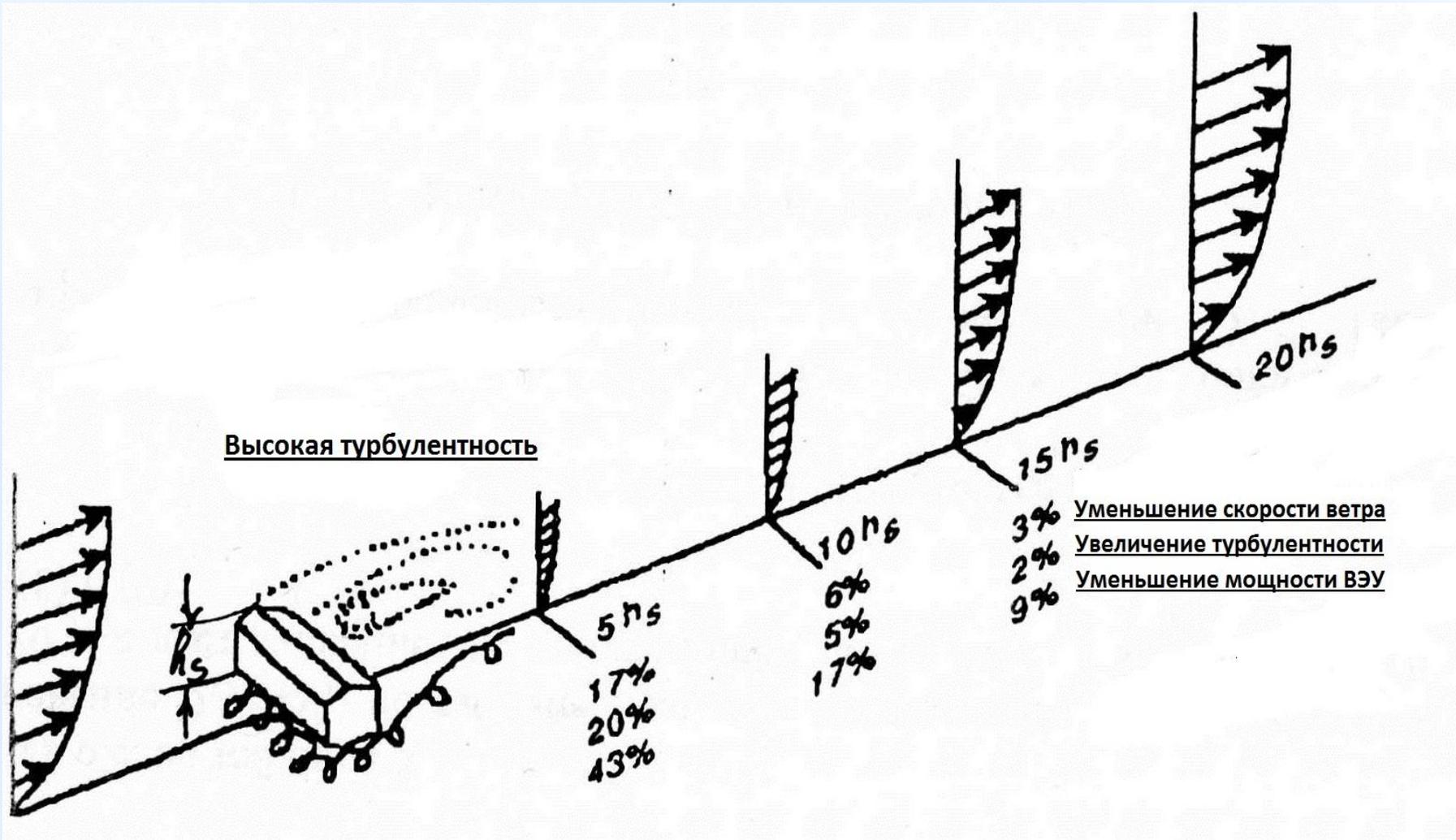


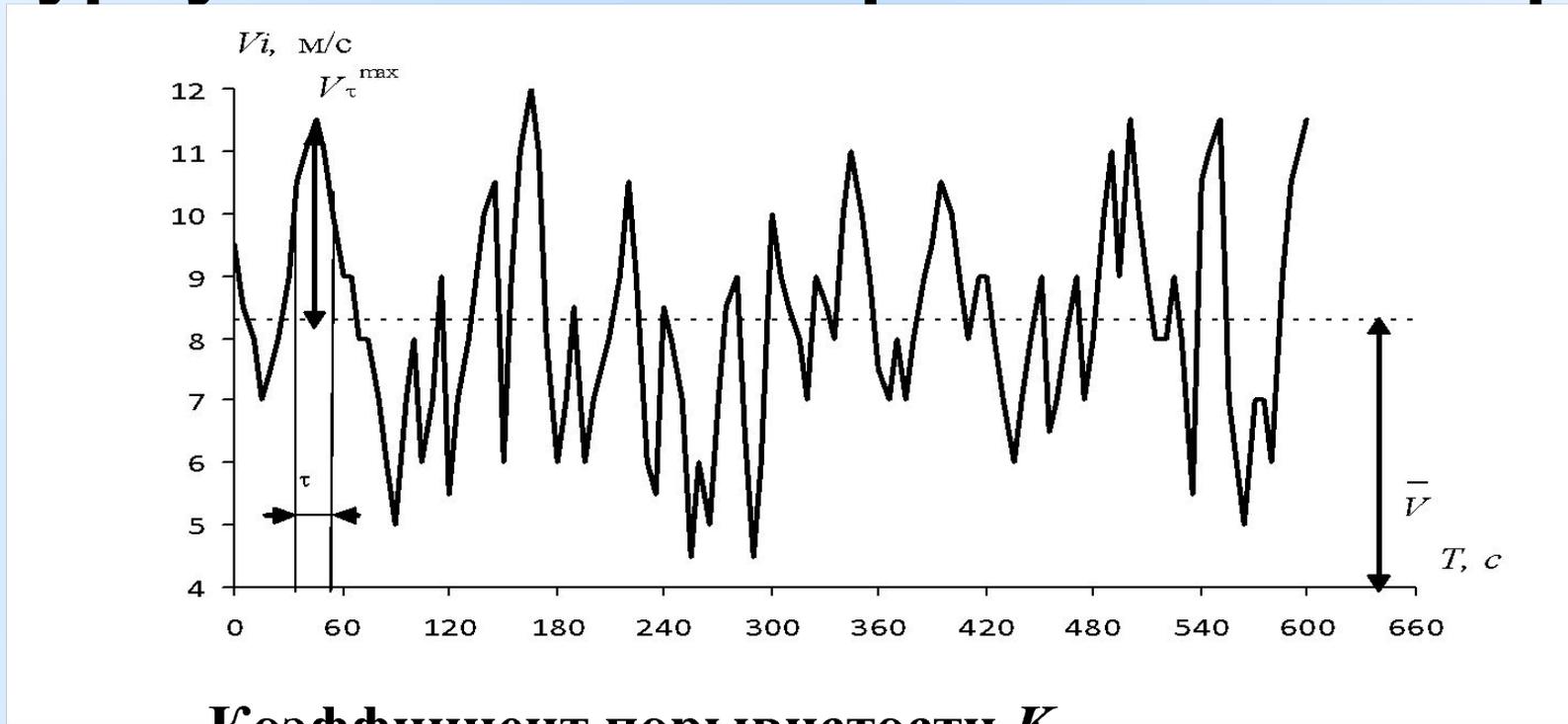
Рисунок - Скорость ветра, доступная мощность ВЭУ и турбулентность потока на подветренной стороне здания

(Wegley и др., 1980)

Основные характеристики ветра:

- Временные вариации скоростей ветра
- Средняя скорость ветра V_0 , м/с
- Повторяемость скоростей ветра $t(V)$, %
- Обеспеченность скоростей ветра $P(V)$, %
- Повторяемость направлений ветра (НВ) $t(НВ)$, %
- Поправочные коэффициенты, учитывающие неоднородность подстилающей поверхности: коэффициенты Милевского, мезо- и микро- факторы
- Вертикальный профиль средней скорости ветра
- Максимальная скорость ветра
- Удельная мощность $N_{уд}$ и удельная энергия ветра $\mathcal{E}_{уд}$

Турбулентность и порывистость ветра



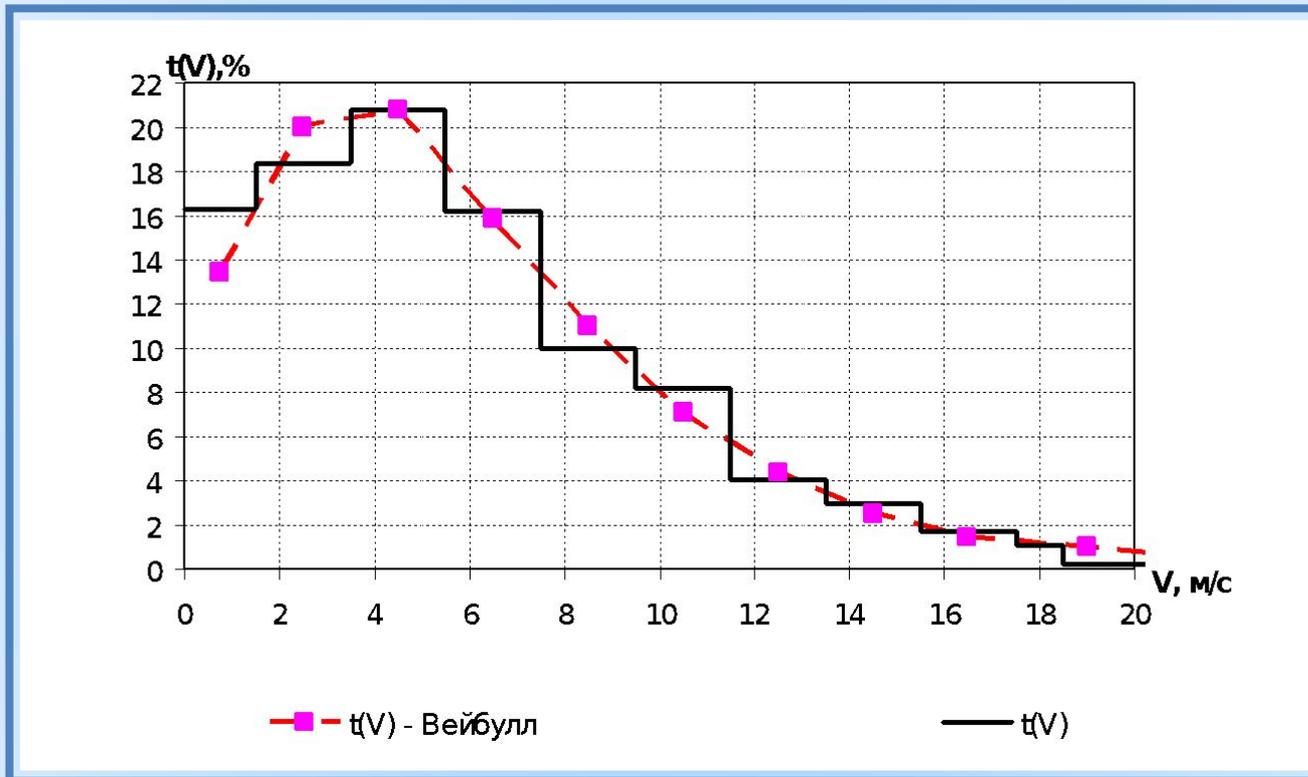
Коэффициент порывистости $K_{пор}$:

$$K_{пор} = V_\tau^{\max} / V_0$$

Интенсивностью турбулентности I :

$$I = \sigma_v / V_0$$

Повторяемость скоростей ветра $t(V)$



Теоретическая повторяемость по функции Вейбулла:

$$t^B(V_j) = \Delta V_j \cdot \frac{\gamma}{\beta} \cdot \left(\frac{V}{\beta}\right)^{\gamma-1} \cdot e^{-\left[\frac{V}{\beta}\right]^\gamma}$$

Вертикальный профиль скорости ветра

1. Логарифмический профиль:

$$\frac{v(h_2)}{v(h_1)} = \frac{\ln\left(\frac{h_2}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{Z_0}\right)}$$

где $v(h_2)$, $v(h_1)$ – скорость ветра на высотах h_1 и h_2 над поверхностью земли в рассматриваемой точке.

2. Степенной закон:

$$\frac{v(h_2)}{v(h_1)} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^m$$

где m – показатель степени зависит от топографии местности, скорости ветра, стратификации атмосферы и т.д.

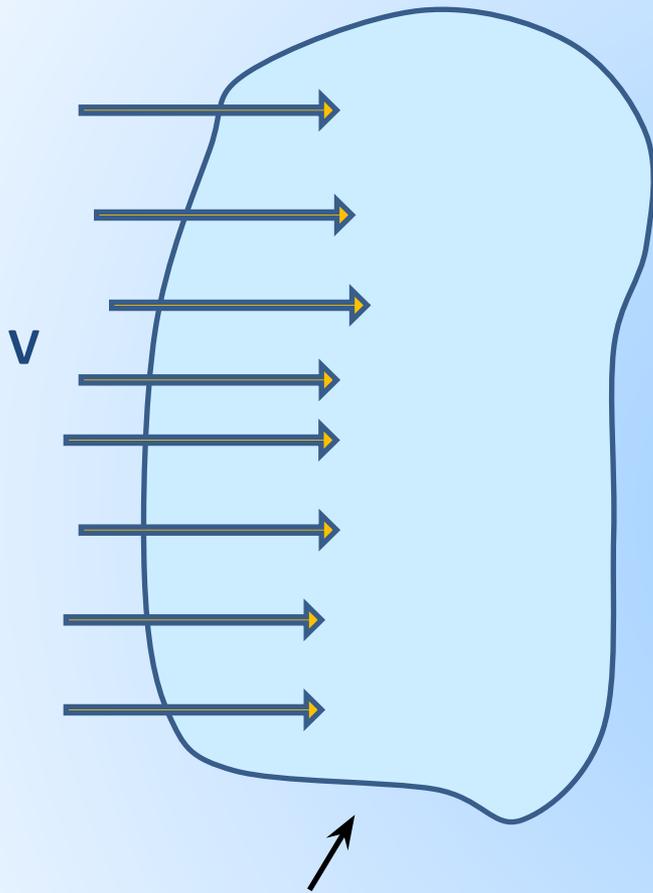
Максимальная скорость ветра

Максимальные скорости ветра для некоторых городов России

Регион (город)	Максимальная скорость ветра, м/с		
	За 5 лет	За 20 лет	За 50 лет
Барнаул	35	42	48
Новороссийск	42	50	57
Норильск	40	48	55
Находка	45	54	62
Хабаровск	29	32	37
Ростов–на–Дону	26	31	35
Малые Кармакул	68	84	92
Петрозаводск	26	31	35
Рязань	26	31	35
Уфа	40	48	55

Самое ветреное место на Земле - Бухта Содружества, Антарктида, где периодически наблюдается скорость ветра, равная 89,3 м/с

Мощность ветрового потока (ВП)



Сечение
площадью
F [кв.м]

Кинетическая энергия ВП:

$$\frac{mV^2}{2}$$

Масса воздуха, протекающего
через это сечение за единицу
времени:

$$m = \rho FV$$

Мощность ВП: $N_{ВП} = \frac{\rho F}{2} V^3$

Удельная мощность ВП:

$$N_{ВП}^{уд} = \frac{\rho}{2} V^3$$