

# НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Сухоцкий Альберт Борисович

1. Происхождение и типы ветровых потоков.
2. Работа поверхности при действии на нее ветра.
3. Теория идеального крыльчатого ветроколеса.

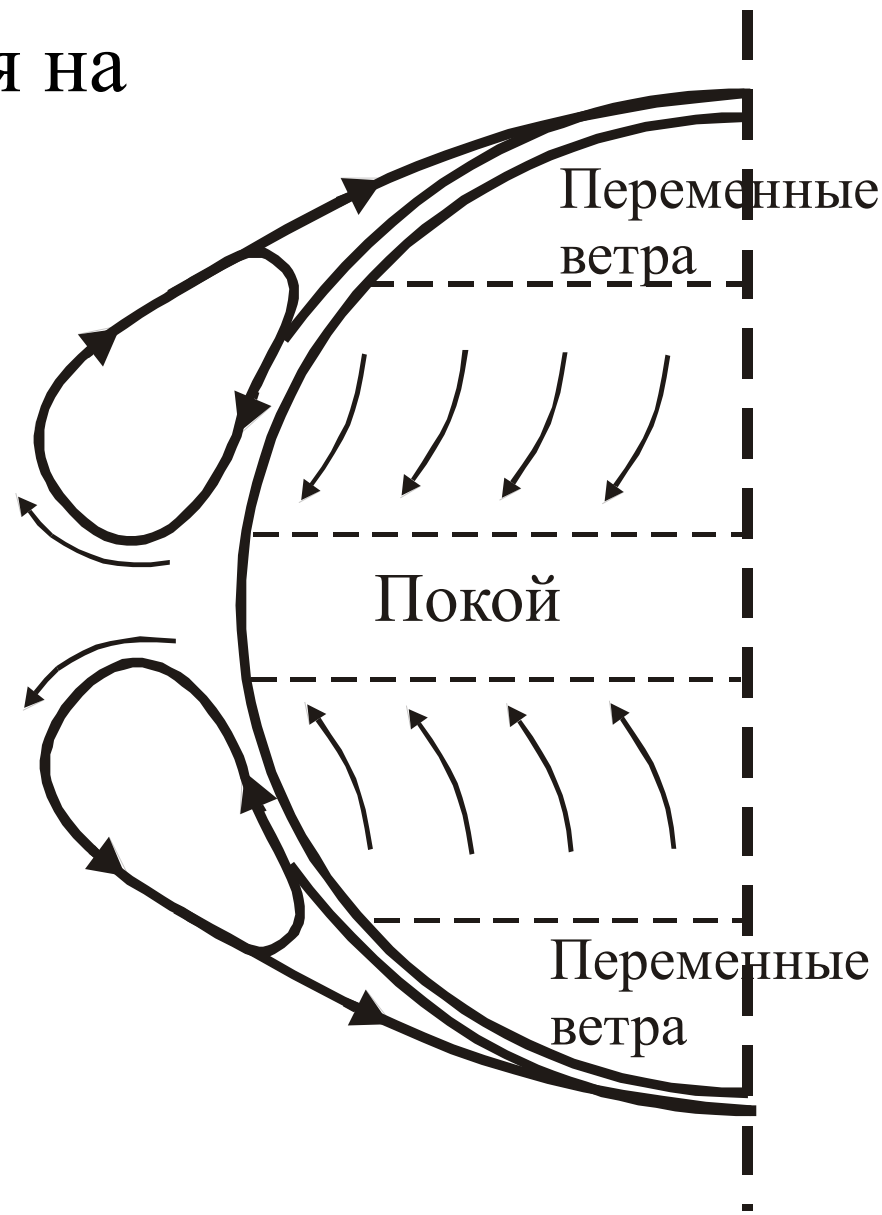


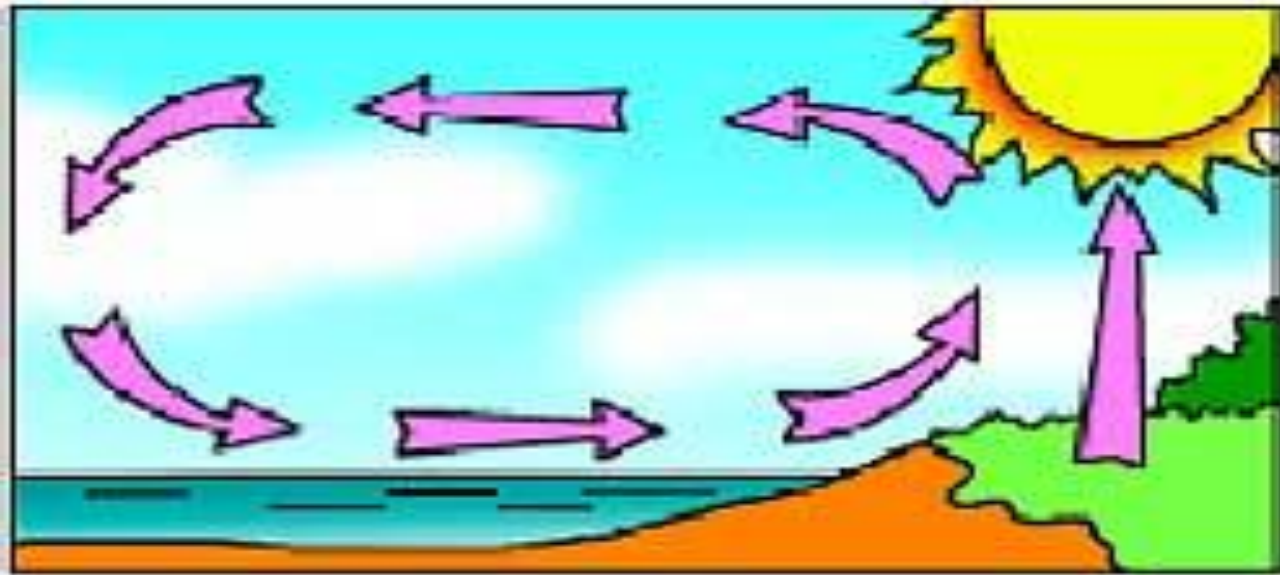
Ветряная мельница коллективного пользования  
19 века в Клецке

# Происхождение ветра

Ветровые потоки делятся на

- пассаты,
- бризы,
- муссоны,
- местные ветра.





# Потенциал энергии ветра в РБ

Потенциал энергии ветра зависит от следующих факторов:

- среднегодовой и среднемесячной скорости ветра,
- повторяемости скоростей и направления ветра,
- длительности периодов затишья и интенсивных ветровых порывов,
- максимальной скорости ветра.

# Потенциал ветра в Республике Беларусь

	Средняя скорость ветра, м/с		Повторяемость различных градаций скорости ветра за год, %		
	за отопительный период	за три наиболее холодных месяца	<1	2 - 5	>8
<b>Областной центр</b>					
Брест	3,8	3,9	25	59	7
Витебск	4,5	4,7	21	55	12
Гомель	4,3	4,5	25	52	10
Минск	4,7	5	13	59	9
Могилев	4	4,2	29	52	8

К 2015 году в Белоруссии планируется ввести ветроэнергетические установки суммарной мощностью не менее **15-20 МВт**. Всего учеными определено в Белоруссии 1680 потенциальных площадок, которые могут быть использованы для ветроэнергетики. В основном они находятся в Витебской, Гродненской и Минской областях.



# Скорость ветра

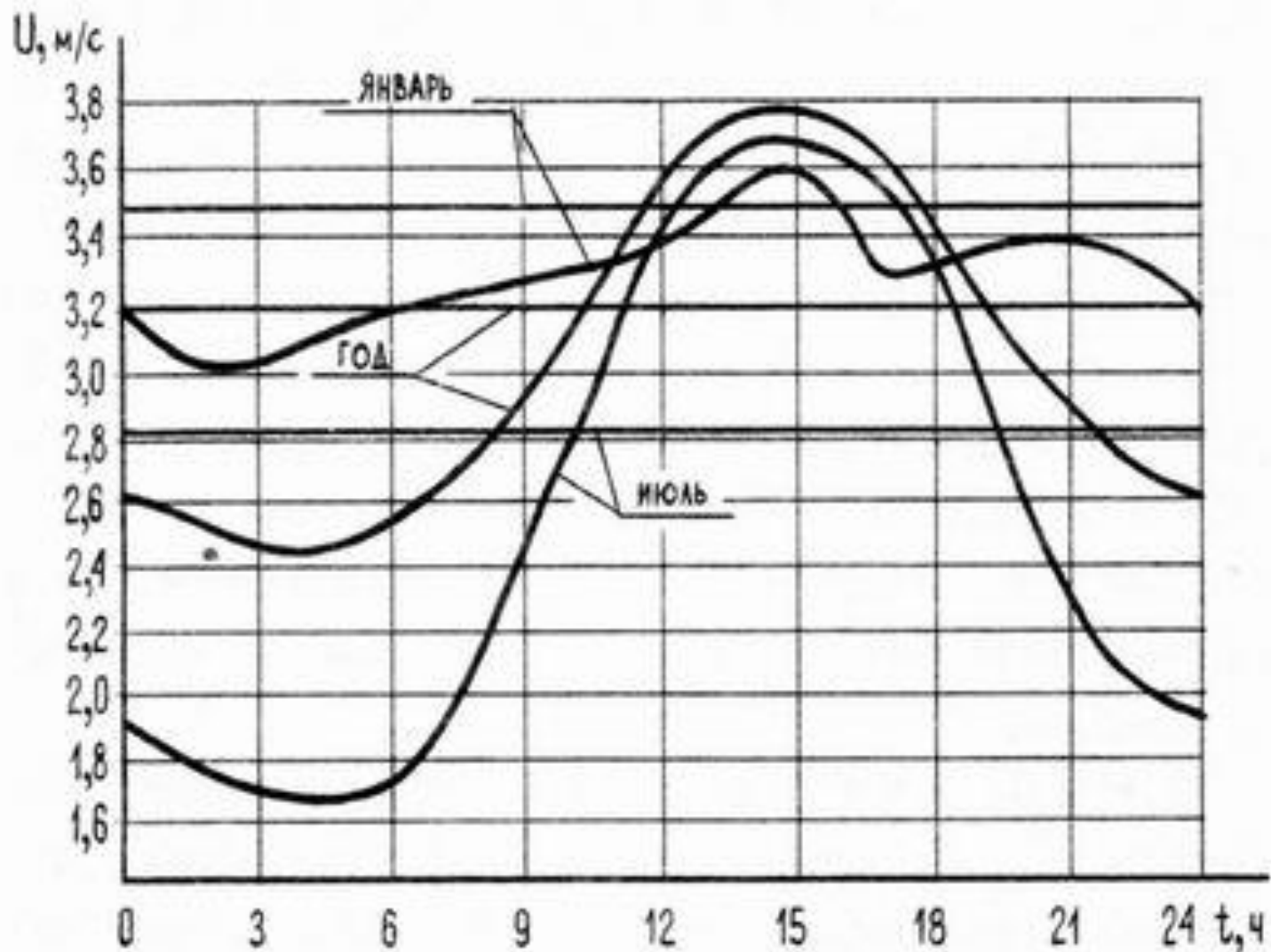
это расстояние, проходимое массой воздуха в течение единицы времени вдоль земной поверхности.

Скорость ветра в целом зависит как от времени года, так и от времени суток.

Скорость ветра постоянно меняется

- по величине,
- по направлению,
- по высоте от земной поверхности.

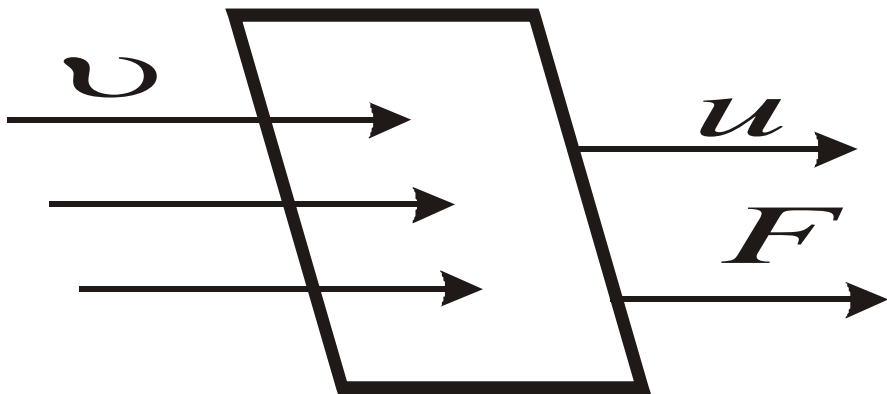
$$v_0 = v_{10} (H / 10)^\alpha .$$



Суточный ход скорости ветра на ГМС "Минск".  
 Горизонтальные линии соответствуют средней скорости  
 ветра в указанный период.

Для Беларуси по данным многолетних наблюдений среднегодовые скорости ветра составляют от 3,0 до 4,1 м/с, а среднемесячная максимальная – до 4,9 м/с.

# Работа поверхности при действии на нее силы ветра



$$w = v - u,$$

$$F = S \frac{\rho}{2} w^2 = S \frac{\rho}{2} (v - u)^2$$

Мощность, воспринимаемая пластиной

$$N = Fu = S \frac{\rho}{2} (v - u)^2 u$$

Начальная мощность ветрового потока

$$N_{\text{вн}} = E_{\text{кин}} / t = \frac{v^2 m}{2t} = \frac{Gv^2}{2} = \frac{\rho v^3 S}{2}$$

Коэффициент использования энергии  
ветрового потока

$$\xi_i = \frac{N}{N_{\text{в.п}}} = \frac{S \frac{\rho}{2} (v-u)^2 u}{S \frac{\rho v^3}{2}} = \frac{u}{v^3} (v-u)^2 =$$
$$= \frac{u}{v} \left(1 - \frac{u}{v}\right)^2 = \varepsilon (1 - \varepsilon)^2, \quad \varepsilon = u/v.$$

$$\xi_i = \eta_a \varepsilon (1 - \varepsilon)^2$$

Определим максимальный коэффициент использования энергии ветрового потока

$$\frac{d\xi_i}{d\varepsilon} = \frac{d}{d\varepsilon} \left[ \varepsilon(1-\varepsilon)^2 \right] = \frac{d}{d\varepsilon} (\varepsilon - 2\varepsilon^2 + 2\varepsilon^3) = 0$$

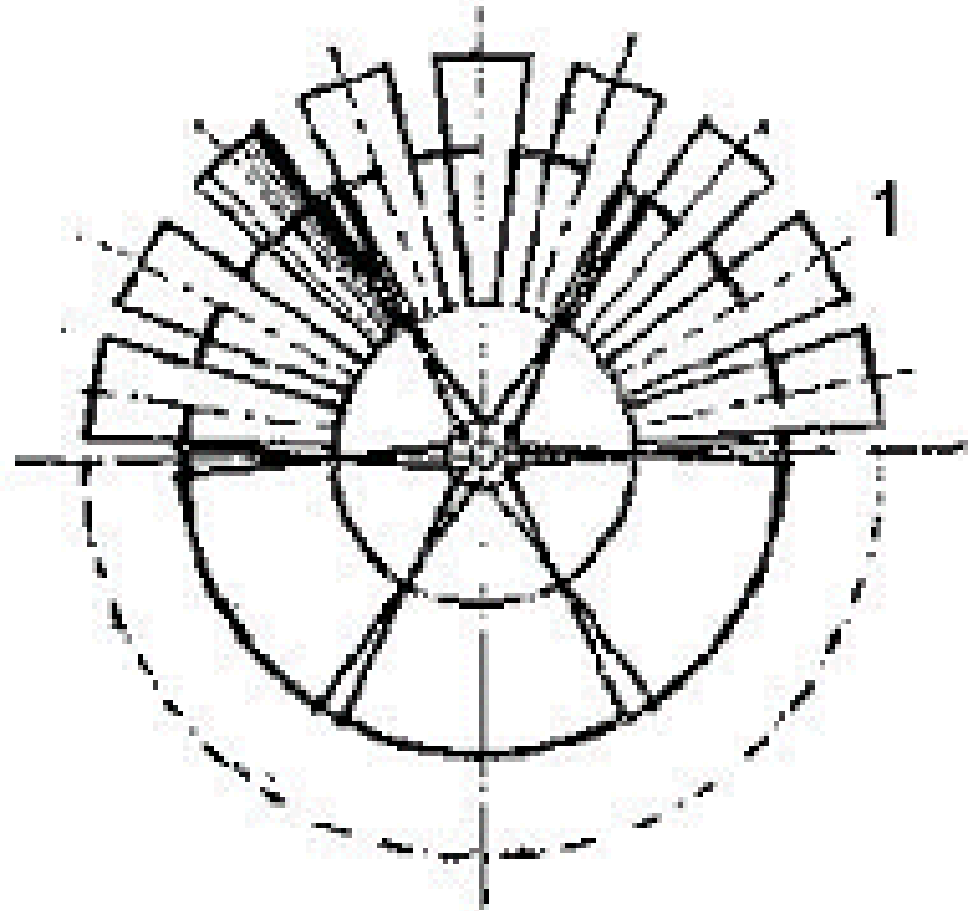
$$\frac{d\xi_i}{d\varepsilon} = 1 - 4\varepsilon + 3\varepsilon^2 = 0, \quad \varepsilon_{\text{опт}} = 1/3, \quad \xi_i^{\text{max}} = \frac{4}{27}.$$

Следовательно, максимальный коэффициент использования энергии ветра при работе поверхности силой сопротивления равен 0,149.

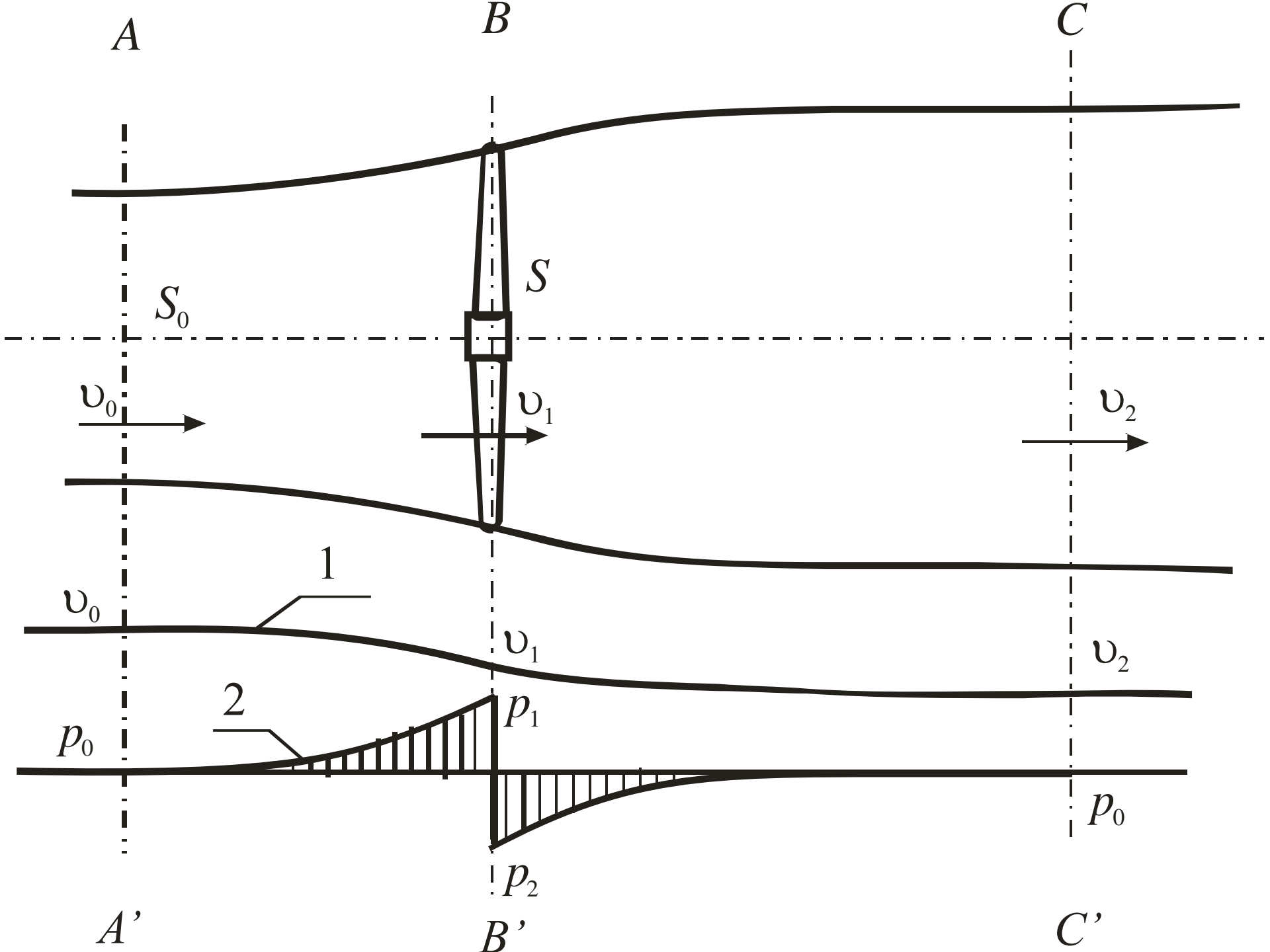
# Теория идеального лопастного ветроколеса

Идеальным лопастным ветроколесом называют ветроколесо, у которого:

- 1) ось вращения параллельна скорости ветра;
- 2) бесконечно большое число лопастей очень малой ширины;
- 3) профильное сопротивление лопастей равно нулю, и циркуляция вдоль лопасти постоянна;
- 4) потерянная скорость воздушного потока на ветроколесе постоянна по всей ометаемой поверхности ветряка;
- 5) угловая скорость стремится к бесконечности.







Для определения силы воздействия ветра на ветроколесо, воспользуемся теоремой об изменении количества движения

$$F t = m \Delta v_2, \quad F = \frac{m}{t} \Delta v_2 = G \Delta v_2 = \rho S_1 v_1 \Delta v_2,$$

$$\Delta v_2 = v_0 - v_2.$$

Мощность, воспринимаемая ветроколесом

$$N = F \cdot v_1 = G \cdot \Delta v_2 \cdot v_1.$$

В этом выражении две переменные неизвестны.

Мощность, теряемую ветровым потоком  
определим по разности кинетических энергий

$$\Delta N_{\text{в.п}} = E_0^{\text{кин}} - E_2^{\text{кин}} = \frac{G(v_0^2 - v_2^2)}{2},$$

$$N = \Delta N_{\text{в.п}},$$

$$\frac{G(v_0^2 - v_2^2)}{2} = G \cdot \Delta v_2 \cdot v_1, \quad \Delta v_2 = v_0 - v_2.$$

$$v_0^2 - v_2^2 = 2(v_0 - v_2) \cdot v_1,$$

$$v_0 + v_2 = 2v_1,$$

$$v_2 = v_0 - \Delta v_2. \quad v_1 = v_0 - \Delta v_1.$$

$$v_0 + v_0 - \Delta v_2 = 2v_0 - 2\Delta v_1,$$

$$\boxed{\Delta v_2 = 2\Delta v_1.}$$

Коэффициент использования энергии  
ветрового потока

$$\begin{aligned}\xi_{\text{в.п.}} &= \frac{N}{N_{\text{в.п.}}} = \frac{G \cdot v_1 \Delta v_2}{G_0 v_0^2 / 2} = \frac{\rho S v_1 \cdot v_1 \Delta v_2}{\rho S v_0^3 / 2} = \\ &= \frac{4v_1^2 \Delta v_1}{v_0^3} = \frac{4\Delta v_1 (v_0 - \Delta v_1)^2}{v_0^3},\end{aligned}$$

$$\boxed{\xi_{\text{в.п.}} = 4e(1-e)^2}$$

$$e = \Delta v_1 / v_0.$$

Определим максимальный коэффициент использования энергии ветрового потока

$$\frac{d\xi_i}{de} = \frac{d}{de} \left[ 4e(1-e)^2 \right] = \frac{d}{de} (4e - 8e^2 + 4e^3) = 0$$

$$\frac{d\xi_i}{de} = 4 - 16e + 12e^2 = 0$$

$$e = 1/3$$

$$\xi_i^{\max} = 4 \frac{1}{3} \left( 1 - \frac{1}{3} \right)^2 = \frac{16}{27}$$

Таким образом, из классической теории идеального ветряка вытекают следующие основные положения:

1. Максимальный коэффициент использования энергии ветра идеального ветроколеса равен  $\xi_i = 0,593$ .

2. При этом скорость ветра за ветроколесом будет в три раза меньше скорости ветра перед ветроколесом.

$$e = \frac{\Delta v_1}{v_0} = \frac{\Delta v_2}{2v_0} = \frac{v_0 - v_2}{2v_0} = \frac{1}{3}, \quad v_2 = v_0 / 3.$$

Г.Х. Сабинин уточнил теорию идеального ветряка, пояснив, что силу давления ветра на ветряк следует определять по другой формуле

$$F = \rho S_1 v_0 \Delta v_2.$$

В этом случае, коэффициент использования энергии ветрового потока

$$\xi_i = 4e \frac{1-e}{1+e}$$

$$e_{\text{опт}} = 0,414, \quad \xi_i^{\text{max}} = 0,686.$$