

Расчет скорости воздушного потока на высоте башни ветроэнергетической установки

Условие:

Определить мощность горизонтально-осевой ВЭУ с ветроколесом диаметром $D_{ВК}$ и скорость воздушного потока на высоте башни ветроэнергетической установки при заданных условиях.

Определить:

1. Как изменится мощность и скорость при другой высоте башни ВЭУ h_2 и h_3 ?
2. Изменится ли мощность ветровой станции при увеличении $D_{ВК}$ на 20% при неизменной высоте башни ($h_1 = \text{const}$)?
3. Изменится ли мощность ветровой станции при уменьшении $D_{ВК}$ на 20% при неизменной высоте башни ($h_1 = \text{const}$)?

Построить график $h_{\text{башни}} = f(N_{\text{ВЭУ}})$.

Построить график $D_{ВК} = f(N_{\text{ВЭУ}})$.

Исходные данные:

Таблица 1. Исходные данные

Вариант	Высота слоя атмосферы h_0 , м	Скорость ветра, V_0 , м/с	Степень открытости флюгера	Форма рельефа местности	Метеостанция	Высота башни, h_1 , м	$D_{ВК}$, м	Изменная высота башни h_2 , м	Изменная высота башни h_3 , м
1	17	2,5	Вблизи залива	Выпуклая	«Цып-Наволок»	30,0	8	35	25
2	18	2,75	Вблизи океана	Плоская	«Крестовый»	32,5	8,5	37,5	27,5
3	19	3	Вблизи большой реки	Вогнутая	«Сеть-Наволок»	35,0	9	40	30
4	19	3,25	Вблизи большого озера	Выпуклая	«Цып-Наволок»	37,5	9,5	42,5	32,5
5	20	3,5	Вблизи внутреннего моря	Плоская	«Крестовый»	40,0	10	45	35

6	21	3,75	Среди многих элементов защищенности и	Вогнутая	«Сеть-Наволоки»	42,5	10,5	47,5	37,5
7	22	4	Среди отдельных элементов защищенности и	Выпуклая	«Цып-Наволоки»	45,0	11	50	40
8	23	4,25	Без элементов защищенности и	Плоская	«Крестовый»	47,5	11,5	52,5	42,5
9	24	4,5	Вблизи большой реки	Вогнутая	«Сеть-Наволоки»	50,0	12	55	45
10	25	4,75	Вблизи большого озера	Выпуклая	«Цып-Наволоки»	52,5	12,5	57,5	47,5
11	26	5	Вблизи большой реки	Плоская	«Крестовый»	55,0	13	60	50
12	27	5,25	Ниже окружающих предметов	Вогнутая	«Сеть-Наволоки»	57,5	13,5	62,5	52,5
13	28	5,5	Вблизи залива	Выпуклая	«Цып-Наволоки»	60,0	14	65	55
14	29	5,75	Вблизи океана	Плоская	«Крестовый»	62,5	14,5	67,5	57,5
15	30	6	Вблизи внутреннего моря	Вогнутая	«Сеть-Наволоки»	65,0	15	70	60
16	31	6,25	Среди многих элементов защищенности и	Выпуклая	«Цып-Наволоки»	67,5	15,5	72,5	62,5
17	32	6,5	Среди отдельных элементов защищенности и	Плоская	«Цып-Наволоки»	70,0	16	75	65
18	33	6,75	Без элементов защищенности и	Вогнутая	«Крестовый»	72,5	16,5	77,5	67,5

Решение:

Скорость воздушного потока на высоте башни ВЭУ:

$$V_{h_1} = K_p V_0 \left(\frac{h_1}{h_0} \right)^m, \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

где: V_0 – скорость ветра, измеренная вблизи земной поверхности на высоте h_0 ;

h_1 , м – высота башни;

m – показатель степени (см. табл. 2)

Таблица 2. Зависимость показателя степени m от скорости ветра для слоя атмосферы, высотой до 121 м

Высота слоя атмосферы	Скорость ветра, м/с								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 – 10	0,215	0,206	0,196	0,180	0,175	0,163	0,151	0,140	0,124
10 – 121	0,54	0,34	0,264	0,204	0,170	0,147	0,130	0,120	0,117

K_p – коэффициент, учитывающий рельеф местности:

$$K_p = \frac{K_A}{K_{MC}},$$

где: K_A – фактический класс (степень) открытости местности в баллах масштаба открытости (см. табл. 3)

Таблица 3. Классификация местоположения точки А и степени открытости флюгера (в баллах масштаба открытости по В.Ю. Милевскому)

Степень открытости флюгера	Форма рельефа местности		
	Выпуклая	Плоская	Вогнутая
<i>Вблизи от водной поверхности</i>			
Открытое побережье:			
Океана или открытого (внешнего) моря	23	21	18
Закрытого (внутреннего) моря	22	19	15
Залива, большого озера	20	16	12
Большой реки	17	13	9
<i>Вдали от водной поверхности</i>			
Выше окружающих предметов:	14	10	6
Без элементов защищенности	11	7	4
Среди отдельных элементов			

защищенности	8	5	3
Среди многих элементов защищенности			
Ниже окружающих предметов (среди элементов защищенности)	2	1	0

Примечание: элементами защищенности могут являться холмы, строения, деревья, если расстояния от них до ветроизмерительного прибора менее 20-кратной их высоты.

K_{MC} – класс открытости опорной метеостанции.

Класс открытости метеостанции определяют по методике В.Ю. Милевского (класс открытости по i-му румбу)

$$K_{MC} = \sum_{i=1}^8 K_i \tau_i,$$

где: K_i – класс открытости по i-му румбу (см. табл. 4);

τ_i – повторяемость направления ветра i-го румба в долях (см. табл. 5).

Таблица 4. Класс открытости по Милевскому (K_i)

Метеостанция, пункт	Направление (румб)							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
«Цып-Наволок»	7	18	18	18	4	10	7	7
«Крестовый»	19	19	19	19	10	7	7	7
«Сеть-Наволок»	21	17	12	9	9	17	19	22

Таблица 5. Повторяемость направлений ветра, % (τ_i)

Метеостанция, пункт	Повторяемость направлений ветра, %							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
«Цып-Наволок»	10	7	8	11	11	23	17	13
«Крестовый»	12	9	9	7	7	23	12	11
«Сеть-Наволок»	10	7	8	11	11	23	17	13

Мощность ВЭУ:

$$N_{h_1} = 0,5\rho F_{\text{ВК}} V_{h_1}^3 \eta_{\text{ВЭУ}}, \text{ Вт}$$

где: ρ – плотность воздуха (при нормальных условиях $\rho = 1,226 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$);

$F_{\text{ВК}}$ – площадь поперечного сечения воздушного потока, приходящегося на ВК (ометаемая площадь ветроколеса);

V_{h_1} – скорость ветра на высоте h_1 ;

$\eta_{\text{ВЭУ}}$ – КПД ВЭУ в долях (в номинальном режиме составляет 45 – 48 %).

Ометаемая площадь ветроколеса:

$$F_{\text{ВК}} = 0,25\pi D_{\text{ВК}}^2, \text{ м}^2$$