

Лекция №4.2

4.2.1 Вертикальное распределение скорости ветрового потока

Современная практика математического моделирования профиля скорости ветрового потока в приземном слое располагает следующими видами интерполяций:

степенной;
линейной;
логарифмической.

Степенная интерполяция использует выражение вида:

$$V_z = V_\phi \cdot \left(\frac{z}{z_\phi}\right)^\alpha \quad (4.6)$$

где V_ϕ — скорость на высоте наблюдения (обычно на стандартной высоте флюгера метеоплощадки, как правило $z_\phi = 10 \dots 12$ м); z — высота, на которой требуется определить скорость ветрового потока; α — показатель профиля. Величина α зависит от условий термической стратификации приземного слоя, значения скорости V_ϕ и шероховатости подстилающей поверхности z_0 . Как правило, в первом приближении показатель профиля α для стандартных условий аппроксимируется выражением:

$$\alpha = \ln \frac{15,25}{z_0} \quad (4.7)$$

где z_0 — высота шероховатости, м, показывающая на какой высоте средняя скорость ветрового потока равна 0. Это не значит, что мгновенные скорости ветрового потока на высоте z_0 тоже равны 0, т. е. в краткосрочных диапазонах времени их скалярные значения будут отличны от нуля, но векторы противоположны по направлению (рис. 4.4). Типичные значения высоты шероховатости для различных характерных типов местности представлены в табл. 4.2.

Линейная интерполяция использует зависимость вида:

$$V_z = a + bz \quad (4.8)$$

где a и b — эмпирические параметры, не связанные друг с другом зависимостями, а зависящие от различных термических стратификаций и физико-географических условий местности.

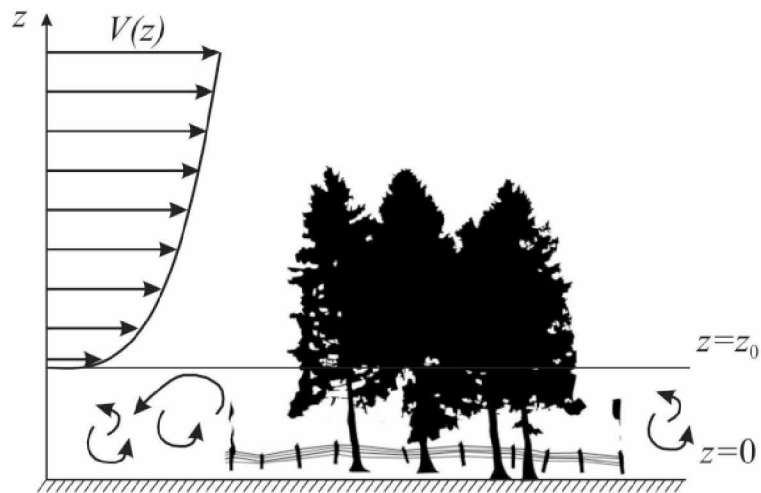


Рис. 4.4 Качественная характеристика высоты шероховатости

Таблица 4.2

Характеристика поверхности	Высота шероховатости Z_0 , м
Лес, город	1 – 10
Пригороды	0,5
Низкорослые лесозаготовительные полосы	0,3
Рощи и кустарники	0,2
Сельскохозяйственные угодья с плотной застройкой	0,1
Сельскохозяйственные угодья с редкой застройкой	0,05
Сельскохозяйственные угодья с очень редкими зданиями, деревьями	0,03
Взлётная полоса аэродрома, стриженная трава	0,01
Ровная голая земля	$5 \cdot 10^{-3}$
Ровная поверхность снега	10^{-3}
Ровная песчаная поверхность	$3 \cdot 10^{-4}$
Гладкая водная поверхность	10^{-4}

Логарифмическая интерполяция, согласно теории Монина-Обухова для безразличной стратификации имеет вид:

$$V(z) = \frac{V^*}{k} \ln \frac{z + z_0}{z_0} \quad (4.9)$$

где V^* – масштаб скорости, равный $\frac{\tau}{\rho}$; τ — вектор касательного напряжения в горизонтальной плоскости; k — постоянная Кармана, равная 0,4.

Согласно международным нормам ИЕС 61400-1 для технических нужд ветроэнергетики рекомендуется пользоваться степенной интерполяцией вида (4.6). Это объясняется относительной простотой этой интерполяции и достаточной точностью получаемого профиля ветрового потока. Влияние высоты шероховатости на профиль ветрового потока отражено на рис. 4.5.

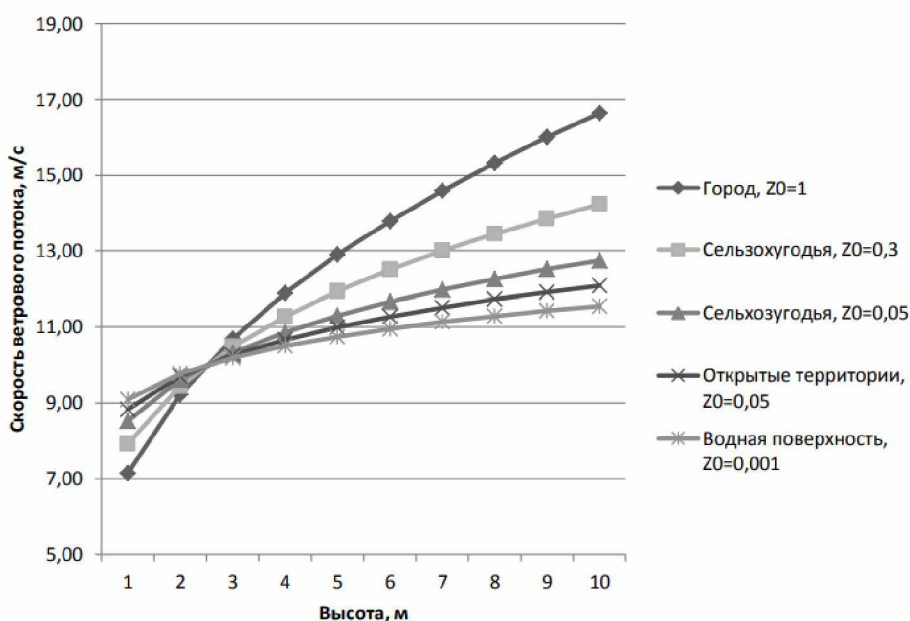


Рис. 4.5 Влияние z_0 на вертикальный профиль скорости ветрового потока

Плотность воздуха

Ещё одним важным параметром для расчёта ВЭУ является плотность воздуха, формирующего ветровой поток. Плотность воздуха может оказать заметное влияние на мощность ветрового потока. Как отмечалось выше, для НУ (атмосферное давление 101325 Па = 760 мм рт. ст., температура воздуха 273,15° К = 0° С) плотность воздуха составляет 1,225 кг/м³. Непосредственно на месте её можно определить по формуле:

$$\rho = \frac{P_{ATM}}{R \cdot T} \quad (4.10)$$

где P_{ATM} — атмосферное давление, Па; T — абсолютная температура, °К; R — газовая постоянная сухого воздуха, 287,05 Дж/(кг·К). Анализ разнообразных природно-климатических условий показал, что в холодных

районах плотность воздуха, может быть, выше принимаемого при НУ значения и может составлять $1,6 \text{ кг/м}^3$, а в районах с тёплым и влажным воздухом ρ может снижаться до $1,1 \text{ кг/м}^3$.

Зависимость плотности воздуха от температуры и высотных отметок над уровнем моря показана на рис. 4.6.

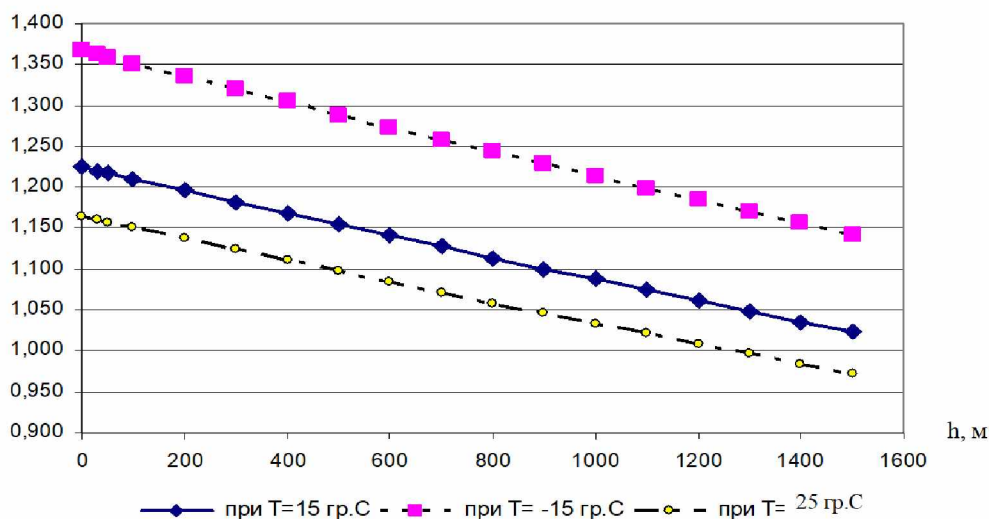


Рис. 4.6 Зависимость плотности воздуха от температуры и высотных отметок над уровнем моря

Ветроэнергетический кадастр

Совокупность аэрологических и энергетических характеристик ветра объединяется в ветроэнергетический кадастр региона. Основными характеристиками ветроэнергетического кадастра являются:

- среднегодовая скорость ветра, годовой и суточный ход ветра;
- повторяемость скоростей, типы и параметры функций распределения скорости ветра;
- вертикальный профиль средней скорости ветра;
- удельная мощность и удельная энергия ветра;
- ветроэнергетические ресурсы региона.

Среднегодовое значение скорости ветра \overline{V}_0 :

$$\overline{V}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}, \quad (4.11)$$

где n – общее количество всех наблюдений скорости V_i за время T .

Коэффициент вариации C_v (о.е.) определяется по формуле:

$$C_v = \sigma / \bar{V}_o, \quad (4.12)$$

где σ_v - среднеквадратическое отклонение, определяемое по формуле:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_o)^2}{n-1}}. \quad (4.13)$$

Среднегодовую удельную мощность ветрового потока $\bar{N}_{y\partial}$:

$$\bar{N}_{y\partial} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{y\partial i}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_i^3)}{n}, \quad (4.14)$$

где $\rho = 1,226 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха.

Среднегодовую (годовую) удельную энергию ветрового потока $\mathcal{E}_{y\partial}$ (кВт·ч):

$$\mathcal{E}_{y\partial} = \bar{N}_{y\partial} \cdot 8760 \quad (4.15)$$

Среднегодовые скорости ветра на высоте 50 м в РФ показаны на рис. 4.7



Рис. 4.7. Карта ветров России