

Дунаенко Алла Владимировна,  
кандидат философских наук,  
Северо-Кавказский федеральный университет

Байрамуков Исса Хусеинович, магистрант,  
Северо-Кавказский федеральный университет

Уртенев Мухаммад Расулович, магистрант,  
Северо-Кавказский федеральный университет

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРА ДЛЯ РАСЧЕТА ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЫСОТНЫЕ ЗДАНИЯ

**Аннотация.** Рассмотрены особенности ветрового воздействия на высотные здания и определения давления, возникающего от действия ветра. Построены зависимости коэффициента высоты и коэффициента пульсаций давления ветра для разных типов местности. Приведено математическое описание этих зависимостей. Даны рекомендации по выбору коэффициента пространственной корреляции.

**Ключевые слова:** Ветровое воздействие, коэффициент высоты, коэффициент пульсаций, типы местности, математические зависимости, коэффициент пространственной корреляции.

Современное развитие строительства направлено на увеличение высотности зданий и сооружений. Возрастают и требования к расчетному обоснованию механической безопасности подобных уникальных объектов. Одним из наиболее важных учитываемых факторов воздействия является ветровое, которое вносит существенный вклад в напряженно деформированное состояние несущих конструкций, особенно, при увеличении высотности.

Особое внимание уделяется проблемам и исследованиям распределения ветровых нагрузок и на здания выше 100 м, и на здания сложной формы (рисунок). Их сложное распределение связано с движением воздушных потоков, которые, в свою очередь, оказывают влияние на каждом уровне здания, ведь с увеличением высоты скорость воздействия ветра возрастает [1].

Находясь в ветровом потоке, высотное здание испытывает аэродинамические нагрузки, которые, главным образом, складываются из распределений давления по его фасадам (напряжения трения сравнительно малы).

Существует два главных фактора, влияющих на характер аэродинамических нагрузок. Это собственная пространственно-временная структура ветра и вторичные струйно-вихревые течения, образующиеся в результате множественных нестационарных отрывов потока на профилях зданий.

Поверхность земли с находящейся на ней застройкой, неровностями рельефа местности и т.д. оказывает на движущийся воздух тормозящее воздействие, которое вследствие турбулентного перемешивания распространяется на верхние слои потока, постепенно ослабевающая с увеличением высоты в пределах так называемого пограничного слоя атмосферы.

Если известна средняя скорость  $V_m$ , то можно вычислить среднюю ветровую нагрузку  $w_m$  на наветренной стороне фасада по известной формуле аэродинамики.

$$w_m = \frac{\rho V_m^2}{2}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха.



С другой стороны, согласно СП 20.13330.2016 [2], средняя ветровая нагрузка на высоте  $z$  над поверхностью земли определяется формулой

$$w_m = w_0 k(z_e) c, \quad (2)$$

где  $w_0$  – нормативное значение ветрового давления, зависящее от ветрового района расположения здания;  $k(z_e)$  – коэффициент высоты, зависящий от типа местности;  $c$  – аэродинамический коэффициент давления (для наветренной стороны препятствия  $c = 1$ , для подветренной  $c = -2$ ).

Нормативное значение ветрового давления  $w_0$  принимается в зависимости от ветрового района [2]. В нашей стране установлено 8 ветровых районов (районирование территории Российской Федерации по давлению ветра) с давлением ветра от 0,17 кПа в ветровом районе Ia до 0,85 кПа в VII-м ветровом районе, т.е. изменяется в 5 раз.

Коэффициент  $K$ , учитывающий тип местности и изменение ветрового давления по высоте определяется или по таблице [2] или по формуле

$$K = K_{10} (0,1H_{экр})^{2\alpha}, \quad (3)$$

где  $K_{10}$  – коэффициент соответствующий десятиметровой эквивалентной высоте;

$H_{экр}$  – эквивалентная высота, м;

$\alpha$  – степенной коэффициент, зависящий от типа местности.

Таблица и формула дублируют друг друга и в них учитывают три типа местности: А – открытые побережья морей, озер и водохранилищ, сельские местности, в том числе с постройками высотой менее 10 м, пустыни, степи, лесостепи, тундра; В – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м; С – городские районы с плотной застройкой зданиями высотой более 25 м.

Сооружение считается расположенным в местности данного типа, если эта местность сохраняется с наветренной стороны сооружения на расстоянии  $30h$  (где  $h$  – высота здания или сооружения) – при  $h$  до 60 м и на расстоянии 2 км – при  $h > 60$  м. Причем типы местности могут быть различными для разных расчетных направлений ветра.

Применительно к городской застройке можно выбрать два типа местности, т.е. В или С, причем учитывая переменное направление ветра, например, в г. Ставрополе не рекомендуется использовать коэффициенты для типа местности С, хотя здание может находиться на территории соответствующей типу С.

Исключение могут составлять здания, находящиеся внутри плотной городской застройки, например, в ставропольском микрорайоне «Перспективный». Изменение  $k(z_e)$  с высотой  $z$  для разных типов местности [2] приведено на рисунке 1.

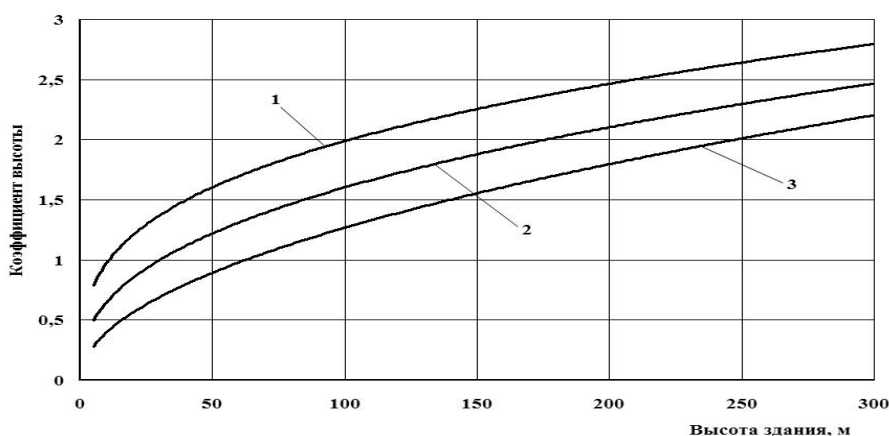


Рисунок 1. Изменение коэффициента высоты для разных типов местности:

1 – тип местности А; 2 – тип местности В; 3 – тип местности С



Данные зависимости описываются уравнениями:

$$k(z_e) = 0,4770 z^{0,31} \text{ для типа местности А;}$$

$$k(z_e) = 0,2624 z^{0,39} \text{ для типа местности В;}$$

$$k(z_e) = 0,1245 z^{0,5} \text{ для типа местности С.}$$

Таким образом, изменение средней ветровой нагрузки с высотой можно вычислить по формулам:

$w_m = 0,4770 z^{0,31} w_o$  (наветренная сторона) и  $w_m = -0,9540 z^{0,31} w_o$  (подветренная сторона) для типа местности А;

$w_m = 0,2624 z^{0,39} w_o$  (наветренная сторона) и  $w_m = -0,5248 z^{0,39} w_o$  (подветренная сторона) для типа местности В;

$w_m = 0,1245 z^{0,5} w_o$  (наветренная сторона) и  $w_m = -0,2490 z^{0,5} w_o$  (подветренная сторона) для типа местности С.

Следует отметить, что знак «минус» в формулах для подветренной стороны означает, что ветровая нагрузка действует на отрыв облицовки, что достаточно опасно для высотных зданий.

В приземном пограничном слое ветровой поток практически никогда не бывает стационарным, поскольку в нем присутствует большое количество вихрей различных масштабов, которые в совокупности образуют сложные турбулентные структуры.

Попытка частичного учета этих факторов содержится в СП 20.13330.2016 [2], где нормативная величина пульсационной составляющей ветровой нагрузки определяется как некоторая доля от среднего значения

$$w_p = w_m \zeta_p V_p, \quad (4)$$

где  $\zeta_p$  – коэффициент пульсации давления ветра на высоте  $z$ ;

$v_p$  – коэффициент пространственной корреляции пульсации давления ветра, зависящий от размеров площадки, подверженной ветровому воздействию.

Зависимость коэффициента пульсаций давления ветра, для разных типов местности показана на рисунке 2.

Данные зависимости описываются уравнениями:

$$\zeta_p = 3,1724 z^{-0,25} \text{ для типа местности А;}$$

$$\zeta_p = 1,6742 z^{-0,2} \text{ для типа местности В;}$$

$$\zeta_p = 1,0769 z^{-0,15} \text{ для типа местности С.}$$

Коэффициент пространственной корреляции  $v_p$  характеризует неоднородность распределения пиковых значений скорости в ветровых порывах. Согласно СП 20.13330.2016 [2] коэффициент  $v_p$  находится в диапазоне 0,38 ... 0,95 и зависит от площади и ориентации поверхности, на которой определяется ветровая нагрузка.

По смыслу, величина  $v_p$  тем меньше, чем больше площадь компактного фрагмента поверхности здания, испытывающего ветровой напор или так называемый отсос. Это объясняется неодномоментностью действия максимальных нагрузок на различные участки поверхности.



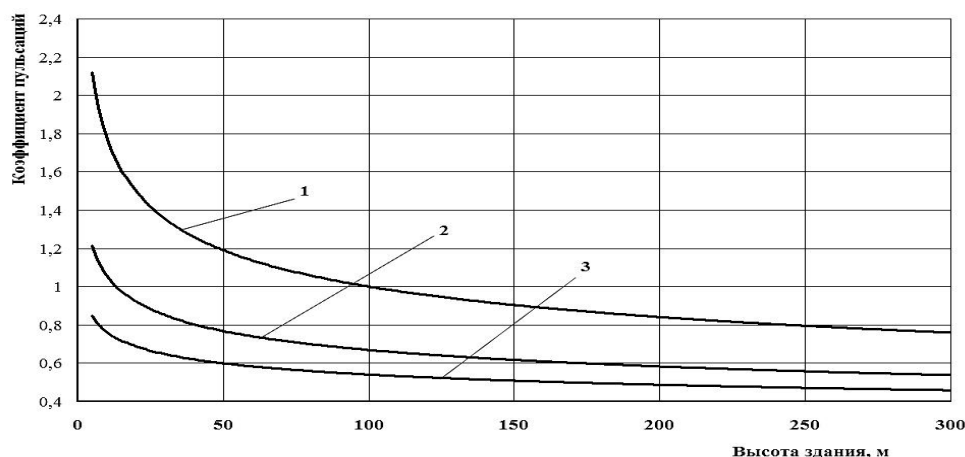


Рисунок 2. Зависимость коэффициента пульсаций давления ветра, для разных типов местности: 1 – тип местности А; 2 – тип местности В; 3 – тип местности С

При оценке ветрового воздействия на участок здания, соизмеримый с его поперечным размером  $v_p = 0,6 \dots 0,7$ . Если же речь идет о воздействии ветра на элементы ограждающих конструкций, площадь которых порядка  $3 \times 3$  м, то, с небольшим запасом можно принимать  $v_p = 0,9$ .

*Список литературы:*

1. Труфанова, Е.В. Анализ ветровых воздействий на здания сложной формы / Е.В. Труфанова, А.С. Осадчий // Молодой исследователь Дона. – 2018. – № 6 (15). – С. 67-74.
2. СП 20.13330.2016 Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. Утв. Приказом Минстроя России от 03.12.2016 № 891/пр. – 147 с.

