

## 11 Воздействия ветра

Для зданий и сооружений необходимо учитывать следующие воздействия ветра:

- а) основной тип ветровой нагрузки (в дальнейшем – «ветровая нагрузка»);
- б) пиковые значения ветровой нагрузки, действующие на конструктивные элементы ограждения и элементы их крепления;
- в) резонансное вихревое возбуждение;
- г) аэродинамические неустойчивые колебания типа галопирования, дивергенции и флаттера (см. также раздел 14).

Резонансное вихревое возбуждение и аэродинамические неустойчивые колебания типа галопирования необходимо учитывать для зданий и сплошностенчатых сооружений, у которых  $h/d > 10$ , где  $h$  – высота,  $d$  – характерный поперечный размер.

### 11.1 Расчетная ветровая нагрузка

11.1.1 Нормативное значение ветровой нагрузки  $w$  следует задавать в одном из двух вариантов. В первом случае нагрузка  $w$  представляет собой совокупность:

- а) нормального давления  $w_e$ , приложенного к внешней поверхности сооружения или элемента;
- б) сил трения  $w_f$ , направленных по касательной к внешней поверхности и отнесенных к площади ее горизонтальной (для шедовых или волнистых покрытий, покрытий с фонарями) или вертикальной проекции (для стен с лоджиями и подобных конструкций);
- в) нормального давления  $w_i$ , приложенного к внутренним поверхностям сооружений с проницаемыми ограждениями, с открывающимися или постоянно открытыми проемами.

Во втором случае нагрузка  $w$  рассматривается как совокупность:

- а) проекций  $w_x$  и  $w_y$ , внешних сил в направлении осей  $x$  и  $y$ , обусловленных общим сопротивлением сооружения;
- б) крутящего момента  $w_z$  относительно оси  $z$ .

При разработке архитектурно-планировочных решений городских кварталов, а также при планировании возведения зданий внутри существующих городских кварталов рекомендуется провести оценку комфортности пешеходных зон в соответствии с требованиями норм или технических условий.

11.1.2 Нормативное значение ветровой нагрузки  $w$  следует определять как сумму средней  $w_m$  и пульсационной  $w_p$  составляющих

$$w = w_m + w_p. \quad (11.1)$$

При определении внутреннего давления  $w_i$  пульсационную составляющую ветровой нагрузки допускается не учитывать.

11.1.3 Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки  $w_m$  в зависимости от эквивалентной высоты  $z_e$  над поверхностью земли следует определять по формуле

$$w_m = w_0 k(z_e) c, \quad (11.2)$$

где  $w_0$  – нормативное значение ветрового давления (см. 11.1.4);

$k(z_e)$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты  $z_e$  (см. 11.1.5 и 11.1.6);

$c$  – аэродинамический коэффициент (см. 11.1.7).

11.1.4 Нормативное значение ветрового давления  $w_0$  принимается в зависимости от ветрового района по таблице 11.1. Нормативное значение ветрового давления допускается определять в установленном порядке на основе данных метеостанций Росгидромета (см. 4.4). В этом случае  $w_0$ , Па, следует определять по формуле

$$w_0 = 0,43 v_{50}^2, \quad (11.3)$$

где  $v_{50}^2$  – давление ветра, соответствующее скорости ветра, м/с, на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А (11.1.6), определяемой с 10-минутным интервалом осреднения и превышаемой в среднем один раз в 50 лет.

Т а б л и ц а 11.1

Ветровые районы (принимаются по карте 3 приложения Ж)	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
$w_0$ , кПа	0,17	0,23	0,30	0,38	0,48	0,60	0,73	0,85

11.1.5 Эквивалентная высота  $z_e$  определяется следующим образом.

1. Для башенных сооружений, мачт, труб и т.п. сооружений

$$z_e = z.$$

2. Для зданий:

а) при  $h \leq d \rightarrow z_e = h$ ;

б) при  $h \leq 2d$ :

для  $z \geq h - d \rightarrow z_e = h$ ;

для  $0 < z < h - d \rightarrow z_e = d$ ;

в) при  $h > 2d$ :

для  $z \geq h - d \rightarrow z_e = h$ ;

для  $d < z < h - d \rightarrow z_e = z$ ;

для  $0 < z \leq d \rightarrow z_e = d$ .

Здесь  $z$  – высота от поверхности земли;

$d$  – размер здания (без учета его стилобатной части) в направлении, перпендикулярном расчетному направлению ветра (поперечный размер);

$h$  – высота здания.

11.1.6 Коэффициент  $k(z_e)$  определяется по таблице 11.2 или по формуле (11.4), в которых принимаются следующие типы 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  $30h$  – при высоте сооружения  $h$  до 60 м и на расстоянии 2 км – при  $h > 60$  м.

П р и м е ч а н и е – Типы местности могут быть различными для разных расчетных направлений ветра.

Таблица 11.2

Высота $z_e$ , м	Коэффициент $k$ для типов местности		
	А	В	С
$\leq 5$	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25
150	2,25	1,9	1,55
200	2,45	2,1	1,8
250	2,65	2,3	2,0
300	2,75	2,5	2,2
350	2,75	2,75	2,35
$\geq 480$	2,75	2,75	2,75

$$k(z_e) = k_{10}(z_e/10)^{2\alpha}. \quad (11.4)$$

Значения параметров  $k_{10}$  и  $\alpha$  для различных типов местностей приведены в таблице 11.3.

Таблица 11.3

Параметр	Тип местности		
	А	В	С
$\alpha$	0,15	0,20	0,25
$k_{10}$	1,0	0,65	0,4
$\zeta_{10}$	0,76	1,06	1,78

11.1.7 При определении компонентов ветровой нагрузки  $w_e$ ,  $w_f$ ,  $w_i$ ,  $w_x$ ,  $w_y$  и  $w_z$  следует использовать соответствующие значения аэродинамических коэффициентов: внешнего давления  $c_e$ , трения  $c_f$ , внутреннего давления  $c_i$  и лобового сопротивления  $c_x$ , поперечной силы  $c_y$ , крутящего момента  $c_z$ , принимаемых по приложению Д.1, где стрелками показано направление ветра. Знак «плюс» у коэффициентов  $c_e$  или  $c_i$  соответствует направлению давления ветра на соответствующую поверхность (активное давление), знак «минус» – от поверхности (отсос). Промежуточные значения нагрузок следует определять линейной интерполяцией.

При определении ветровой нагрузки на поверхности внутренних стен и перегородок при отсутствии наружного ограждения (на стадии монтажа) следует использовать аэродинамические коэффициенты внешнего давления  $c_e$  или лобового сопротивления  $c_x$ .

Для сооружений повышенного уровня ответственности, а также во всех случаях, не предусмотренных Д.1 приложения Д (иные формы сооружений, учет при надлежащем обосновании других направлений ветрового потока или составляющих общего сопротивления тела по другим направлениям, необходимость учета влияния рядом стоящих зданий и сооружений и т.п. случаях), аэродинамические коэффициенты необходимо принимать по справочным данным или на основе результатов продувок моделей сооружений в аэродинамических трубах.

#### Примечания

1 При назначении коэффициентов  $c_x$ ,  $c_y$  и  $c_m$  необходимо указать размеры сооружения, к которым они отнесены.

2 Значения аэродинамических коэффициентов, указанных в приложении Д.1, допускается уточнять на основе данных модельных аэродинамических испытаний сооружений.

11.1.8 Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки  $w_p$  на эквивалентной высоте  $z_e$  следует определять следующим образом:

а) для сооружений (и их конструктивных элементов), у которых первая частота собственных колебаний  $f_1$ , Гц, больше предельного значения собственной частоты  $f_l$  (см. 11.1.10), – по формуле

$$w_p = w_m \zeta(z_e) v, \quad (11.5)$$

где  $w_m$  – определяется в соответствии с 11.1.3;

$\zeta(z_e)$  – коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый по таблице 11.4 или формуле (11.6) для эквивалентной высоты  $z_e$  (см. 11.1.5);

$v$  – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра (см. 11.1.11);

Т а б л и ц а 11.4

Высота $z_e$ , м	Коэффициент пульсаций давления ветра $\zeta$ для типов местности		
	А	В	С
$\leq 5$	0,85	1,22	1,78
10	0,76	1,06	1,78
20	0,69	0,92	1,50
40	0,62	0,80	1,26
60	0,58	0,74	1,14
80	0,56	0,70	1,06
100	0,54	0,67	1,00
150	0,51	0,62	0,90
200	0,49	0,58	0,84
250	0,47	0,56	0,80
300	0,46	0,54	0,76
350	0,46	0,52	0,73
$\geq 480$	0,46	0,50	0,68

$$\zeta(z_e) = \zeta_{10}(z_e/10)^{-\alpha}. \quad (11.6)$$

Значения параметров  $\zeta_{10}$  и  $\alpha$  для различных типов местностей приведены в таблице 11.4;

б) для всех сооружений (и их конструктивных элементов), у которых  $f_1 < f_l < f_2$ , – по формуле

$$w_p = w_m \xi \zeta(z_e) v, \quad (11.7)$$

где  $f_2$  – вторая собственная частота;

$\xi$  – коэффициент динамичности, определяемый по рисунку 11.1 в зависимости от параметра логарифмического декремента колебаний  $\delta$  (см. 11.1.1) и параметра  $\varepsilon_1$ , который определяется по формуле (11.8) для первой собственной частоты  $f_1$ ;

$$\varepsilon_1 = \frac{\sqrt{w_0 k(z_{\text{эк}}) \gamma_f}}{940 f_1}. \quad (11.8)$$

Здесь  $w_0$  (Па) – нормативное значение давления ветра (11.1.4);

$k(z_{эк})$  – коэффициент, учитывающий изменение давления ветра для высоты  $z_{эк}$  (11.1.6);

$\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке (11.1.12).

Для конструктивных элементов  $z_{эк}$  – высота  $z$ , на которой они расположены; для зданий и сооружений  $z_{эк} = 0,7h$ , где  $h$  – высота сооружений;

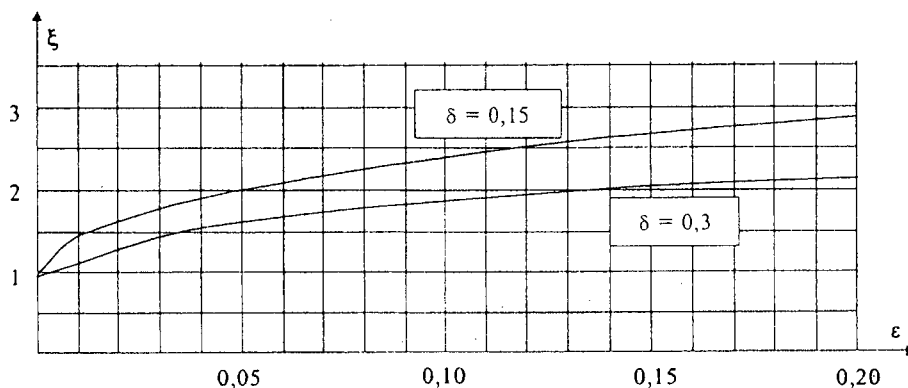


Рисунок 11.1 – Коэффициенты динамичности

в) для сооружений, у которых вторая собственная частота меньше предельной, необходимо производить динамический расчет с учетом  $s$  первых форм собственных колебаний. Число  $s$  следует определять из условия

$$f_s < f_l < f_{s+1};$$

г) при расчете зданий допускается учитывать динамическую реакцию по трем низшим собственным формам колебаний (двум изгибным и одной крутильной или смешанным крутильно-изгибным).

**П р и м е ч а н и е** – При расчете многоэтажных зданий высотой до 40 м и одноэтажных производственных зданий высотой до 36 м при отношении высоты к пролету менее 1,5, размещаемых в местностях типа А и В (см. 11.1.6), пульсационную составляющую ветровой нагрузки допускается определять по формуле (11.5).

11.1.9 Усилия и перемещения при учете динамической реакции по  $s$  собственным формам определяются по формуле

$$X^2 = \sum X_s^2, \quad (11.9)$$

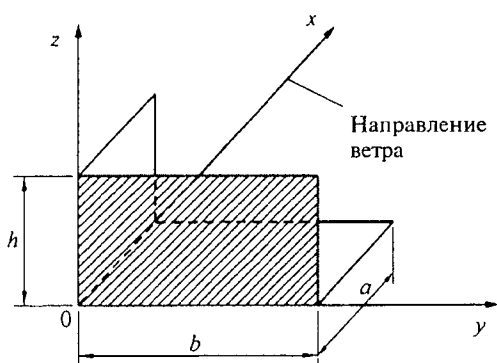
где  $X$  – суммарные усилия или перемещения;

$X_s$  – усилия или перемещения по  $s$ -й форме колебаний.

11.1.10 Предельное значение частоты собственных колебаний  $f_l$ , Гц, следует определять по таблице 11.5.

Таблица 11.5

Ветровые районы (принимаются по карте 3 приложения Ж)	$f, \text{Гц}$	
	$\delta = 0,3$	$\delta = 0,15$
Ia	0,85	2,6
I	0,95	2,9
II	1,1	3,4
III	1,2	3,8
IV	1,4	4,3
V	1,6	5,0
VI	1,7	5,6
VII	1,9	5,9

Рисунок 11.2 – Основная система координат при определении коэффициента корреляции  $\nu$ 

Значение логарифмического декремента колебаний  $\delta$  следует принимать:

а) для железобетонных и каменных сооружений, а также для зданий со стальным каркасом при наличии ограждающих конструкций  $\delta = 0,3$ ;

б) для стальных сооружений футерованных дымовых труб, аппаратов колонного типа, в том числе на железобетонных постаментов  $\delta = 0,15$ .

11.1.11 Коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления  $\nu$  следует определять для расчетной поверхности сооружения или отдельной конструкции, для которой учитывается корреляция пульсаций.

Расчетная поверхность включает в себя те части наветренных и подветренных поверхностей, боковых стен, кровли и подобных конструкций, с которых давление ветра передается на рассчитываемый элемент сооружения.

Если расчетная поверхность близка к прямоугольнику, ориентированному так, что его стороны параллельны основным осям (рисунок 11.2), то коэффициент  $\nu$  следует определять по таблице 11.6 в зависимости от параметров  $\rho$  и  $\chi$ , принимаемых по таблице 11.7.

Таблица 11.6

$\rho, \text{м}$	Коэффициент $\nu$ при $\chi, \text{м}$ , равно						
	5	10	20	40	80	160	350
0,1	0,95	0,92	0,88	0,83	0,76	0,67	0,56
5	0,89	0,87	0,84	0,80	0,73	0,65	0,54
10	0,85	0,84	0,81	0,77	0,71	0,64	0,53
20	0,80	0,78	0,76	0,73	0,68	0,61	0,51
40	0,72	0,72	0,70	0,67	0,63	0,57	0,48
80	0,63	0,63	0,61	0,59	0,56	0,51	0,44
160	0,53	0,53	0,52	0,50	0,47	0,44	0,38

При расчете сооружения в целом размеры расчетной поверхности следует определять с учетом указаний Д.1 приложения Д, при этом для решетчатых

сооружений в качестве расчетной поверхности необходимо принимать размеры расчетной поверхности по его внешнему контуру.

Таблица 11.7

Основная координатная плоскость, параллельно которой расположена расчетная поверхность	$\rho$	$\chi$
$zoy$	$b$	$h$
$zox$	$0,4a$	$h$
$xoy$	$b$	$a$

11.1.12 Коэффициент надежности по ветровой нагрузке следует принимать равным 1,4.

## 11.2 Пиковая ветровая нагрузка

Для элементов ограждения и узлов их крепления необходимо учитывать пиковые положительные  $w_+$  и отрицательные  $w_-$  воздействия ветровой нагрузки, нормативные значения которых определяются по формуле

$$w_{+(-)} = w_0 k(z_e) [1 + \zeta(z_e)] c_{p,+(-)} v_{+(-)}, \quad (1.10)$$

где  $w_0$  – расчетное значение давления ветра (11.1.4);

$z_e$  – эквивалентная высота (11.1.5);

$k(z_e)$  и  $\zeta(z_e)$  – коэффициенты, учитывающие, соответственно, изменение давления и пульсаций давления ветра на высоте  $z_e$  (11.1.6 и 11.1.8);

$c_{p,+(-)}$  – пиковые значения аэродинамических коэффициентов положительного давления (+) или отсоса (–);

$v_{+(-)}$  – коэффициенты корреляции ветровой нагрузки, соответствующие положительному давлению (+) и отсосу (–); значения этих коэффициентов приведены в таблице 11.8 в зависимости от площади ограждения  $A$ , с которой собирается ветровая нагрузка.

Таблица 11.8

$A, m^2$	<2	5	10	>20
$v_+$	1,0	0,9	0,8	0,75
$v_-$	1,0	0,85	0,75	0,65

Аэродинамические коэффициенты  $c_{p,+}$  и  $c_{p,-}$ , как правило, определяются на основе результатов модельных испытаний сооружений в аэродинамических трубах. Для отдельно стоящих прямоугольных в плане зданий значения этих коэффициентов приведены на схеме Д.1.17 приложения Д.1.

**П р и м е ч а н и е** – При определении пиковой ветровой нагрузки (формула (11.10)) принято, что конструктивные элементы ограждения и узлы их крепления к зданию являются достаточно жесткими и в них не возникает заметных динамических усилий и перемещений. В случае если собственные частоты системы «элементы ограждения – их несущие конструкции – элементы их крепления» менее 1,5 Гц, расчетные значения пиковой ветровой нагрузки должны быть уточнены на основе результатов динамического расчета указанной системы конструктивных элементов.

## 11.3 Резонансное вихревое возбуждение

11.3.1 Для зданий и сооружений, удовлетворяющих условию  $h/d > 10$ , необходимо проводить их поверочный расчет на резонансное вихревое возбуждение; здесь  $h$  –