

# Раздел I

## РАСЧЕТ ЗДАНИЙ НА ВЕТРОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

---

### Глава первая

#### ПРОБЛЕМА ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА ЗДАНИЯ КАК ЗАДАЧА ПРИКЛАДНОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

##### § 1. О ВЕРТИКАЛЬНОМ ПРОФИЛЕ ВЕТРА

Как известно, ветровая нагрузка является основным фактором при расчете высотных сооружений и определяется в нормах [25]

$$q = 0,0625v_p^2, \quad (1.1)$$

где  $q$  — скоростной напор;  $v_p$  — расчетная скорость, равная максимально возможной (один раз в расчетное число лет).

Вблизи земной поверхности изменение скорости ветра с высотой в значительной степени зависит от температурной стратификации. При сильных ветрах температурной стратификацией можно пренебречь, и тогда профиль ветра по высоте определяется известной логарифмической зависимостью Прандтля, т. е.

$$v_x = v_{10} \frac{\ln \frac{x}{x_0}}{\ln \frac{10}{x_0}}, \quad (1.2)$$

где  $v_x$  — искомая скорость ветра на отметке  $x$  метров;  $v_{10}$  — скорость ветра на высоте 10 м, превышаемая один раз в пять лет, и определяемая из длительного ряда наблюдений;  $x_0$  — параметр шероховатости, зависящий от вида подстилающей поверхности.

До сих пор в нормативной литературе ветровые нагрузки определяются для различных высот по скоростному напору  $q$ , полученному для высоты 10 м и умноженному на соответствующие поправочные коэффициенты. Последние вычислены в предположении, что расчетная скорость ветра изменяется с высотой по выше приведенной формуле. В нормах [25] изменение скоростного напора ветра по высоте (рис. 1.1) принято по логарифмическому закону со следующими значениями параметра шероховатости: для географического района I  $x_0 = 20$  см; для II и III  $x_0 = 5$  см.

Скорости ветра для высоты 10 м приведены в нормах в зависимости от района строительства. На территории Советского Союза их всего четыре. На основании сравнения нормативных скоростей в различных районах с действительными наблюдениями в настоящее время можно обобщить имеющийся материал наблюдений за ветром и попытаться дать строителям более правильные и подробные данные о величинах скоростей ветра.

Для определения максимальных скоростей ветра может быть предложен рациональный подход, основанный на определении скорости ветра, имеющей заданную интегральную статистическую обеспеченность, а для определения повторяемости сильных ветров — метод статистической экстраполяции. Важность этого вопроса очевидна, поскольку ветровая нагрузка прямо пропорциональна квадрату скорости ветра, и поэтому даже незначительная ошибка при расчете скорости повлечет за собой существенное искажение значений нагрузки.

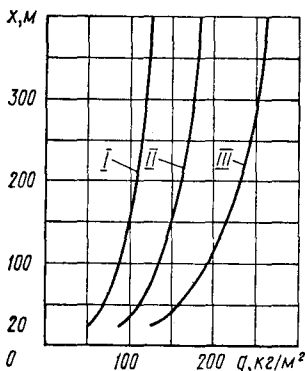
Параметр шероховатости применяется в нормах для очень больших территорий постоянным как для равнинной местности и составляет 0,08 м. Это является крайне грубым приближением к действительным условиям. Параметр шероховатости определяется по формуле

$$x_0 = \frac{h}{7,35},$$

где  $h$  — высота шероховатости на рассматриваемой местности.

Диапазон изменения  $x_0$  велик. Для равнинной местности он составляет 0,08 м, а для застроенных участков (над городами) может достигать нескольких метров.

Рис. 1.1. Изменение скоростных напоров ветра по высоте для географических районов I, II, III.



Наряду с формулой (1.2) для аппроксимации профиля скорости ветра широко применяется также степенная зависимость

$$v_x = v_{10} \left( \frac{x}{x_0} \right)^{\frac{1}{p}}, \quad (1.3)$$

где  $p$  — безразмерный параметр, зависящий от изменения устойчивости атмосферы и шероховатости подстилающей поверхности.

В нормативной литературе параметр  $p$  принимается равным 4. Автор работы [15] предлагает принимать параметр  $p$  равным 8. В зарубежных исследованиях для открытых сельских местностей он составляет 7, а для больших городов — 2,5.

Многообразие факторов, влияющих на формирование профиля ветра, учитывает «теория подобия» Монина — Обухова [21], согласно которой профиль скорости ветра при безразличной стратификации можно записать в виде следующей логарифмической зависимости

$$v_x = \frac{v^*}{k} \ln \frac{x + x_0}{x_0}, \quad (1.4)$$

где  $v^*$  — масштаб скорости, равный  $\sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$ ;  $\tau$  — вектор касательного напряжения в горизонтальной плоскости;  $\rho$  — плотность воздуха вблизи земли;  $k$  — постоянная Кармана.

При стратификации, близкой к безразличной, профили ветра имеют «логарифмический + линейный» закон изменения по высоте, т. е.

$$v_x = \frac{v^*}{k} \left[ \ln \frac{x}{x_0} + \beta' \frac{x}{L'} \right]. \quad (1.5)$$

Здесь  $\beta' = \beta \frac{k_h}{k_m}$ ;  $L' = \bar{L} \frac{k_h}{k_m}$ ;

$\beta$  — постоянная, определяемая по данным наблюдений;  $k_h$  — коэффициент турбулентной теплопроводности;  $k_m$  — коэффициент турбулентной вязкости, равный  $kv_x^*$ ;  $\bar{L}$  — масштаб длины согласно «теории подобия».

Величина  $\beta'$  должна быть постоянной, однако ее значения, полученные различными исследователями для неустойчивой стратификации, различны и составляют 4—5. Для устойчивой стратификации  $\beta' \approx 7$ . При неустойчивой стратификации общий вид профилей ветра может быть аппроксимирован зависимостью

$$v_x = \frac{v^*}{k} \left[ \ln \frac{x}{x_0} - \psi \frac{x}{L'} \right], \quad (1.6)$$

где  $\psi$  — универсальная функция, характеризующая профиль скорости ветра.

Едва ли можно дать единые рекомендации расчета скорости ветра для всех районов с учетом всего многообразия условий и вне рабочего срока службы здания. Можно предположить, что в будущем, при расчете зданий на статические воздействия ветровых нагрузок профили ветра будут определяться на основании статистических данных, относящихся к определенному району с учетом местных условий. Это особенно важно в настоящее время в связи с наметившейся тенденцией перехода к строительству зданий повышенной этажности, для которых ветровая нагрузка является доминирующей.

В исследованиях по вопросу взаимодействия ветрового потока с сооружением [22] приводятся экспериментальные и теоретические данные, связанные с обтеканием воздушным потоком промышленных зданий, и предлагаются эмпирические формулы для определения аэродинамических коэффициентов различных зданий. Полученные экспериментальные данные были положены в основу при составлении норм. Трудности решения задач о взаимодействии воздушной среды со зданием очень велики и в этом плане не намечалось еще какого-либо принципиального решения.

В нормах взаимодействие ветрового потока с сооружением учитывается путем умножения нормативного скоростного напора на аэродинамические коэффициенты, полученные экспериментально путем продувки модели сооружения в аэродинамической трубе. Однако имеющиеся данные по аэродинамическим коэффициентам совершенно не дифференцированы по высоте здания, что не дает возможности объективно оценить перераспределение нагрузок, вызванных

взаимодействием сооружения с невозмущенным ветровым потоком. Следует иметь в виду, что моделирование реального ветрового потока в аэродинамической трубе едва ли практически выполнимо. Поэтому прогресс в этой области исследований, вероятно, будет зависеть главным образом от экспериментальных исследований на натуральных объектах.

## § 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ ПО ПЕРИМЕТРУ ЗДАНИЯ

В связи с внедрением в расчетную практику пространственных расчетных схем возникла необходимость в уточнении характера воздействия ветровой нагрузки не только по высоте, но и по ширине и длине сооружений. Экспериментальные данные об изменении скорости ветра по периметру зданий еще не многочисленны и имеют, главным образом, не количественный, а качественный характер.

Среди экспериментальных исследований по ветровым нагрузкам на здания весьма ценными для суждения о величинах ветровых воздействий и характере их распределения является работа [4]. Опыты ставились на моделях зданий в аэродинамической трубе. Главной целью их было определить ветровые нагрузки на крыши и стены зданий в зависимости от форм обтекаемого тела, угла и скорости ветрового воздействия, форм крыши, козырьков и т. п. Все эти факторы существенно влияют на формирование нагрузок на элементы зданий. Среди экспериментальных данных имеются и другие ценные показатели. На рис. 1.2 [4] приведены результаты обтекания модели здания, имеющего в плане форму прямоугольника. Рисунок иллюстрирует три случая ветрового воздействия на здание. Как видим, даже при лобовом воздействии ветровой нагрузки неравномерность по периметру здания весьма существенна. На фронтальной поверхности наблюдается значительное падение давлений по ее длине; на боковых стенах, параллельных ветровому воздействию, наблюдается быстрое падение кривой давления к задней стенке, находящейся под разрежением. При других углах ветрового воздействия падение давлений более значительно. Подтверждением сказанному может служить третий вариант воздействия (направление ветра  $45^\circ$ ) и изобарическая карта (рис. 1.3). В обоих случаях положительные ветровые давления быстро падают по мере удаления от подветренного угла, переходя к более или менее равномерному разрежению на заветренных стенах.

На основании экспериментальных данных можно утверждать, что давление по периметру здания является неравномерным и зависит от направления ветра. Однако мы не можем сказать заранее, какое направление ветра является наиболее опасным.

За рубежом проведена целая серия опытов по изучению распределения давлений по периметру моделей различных зданий от ветра и взрывных волн. Изучался вопрос определения ветровых нагрузок под углом зрения неравномерности скорости потока по высоте и длине здания. Учет пограничного слоя вносит существенные изме-

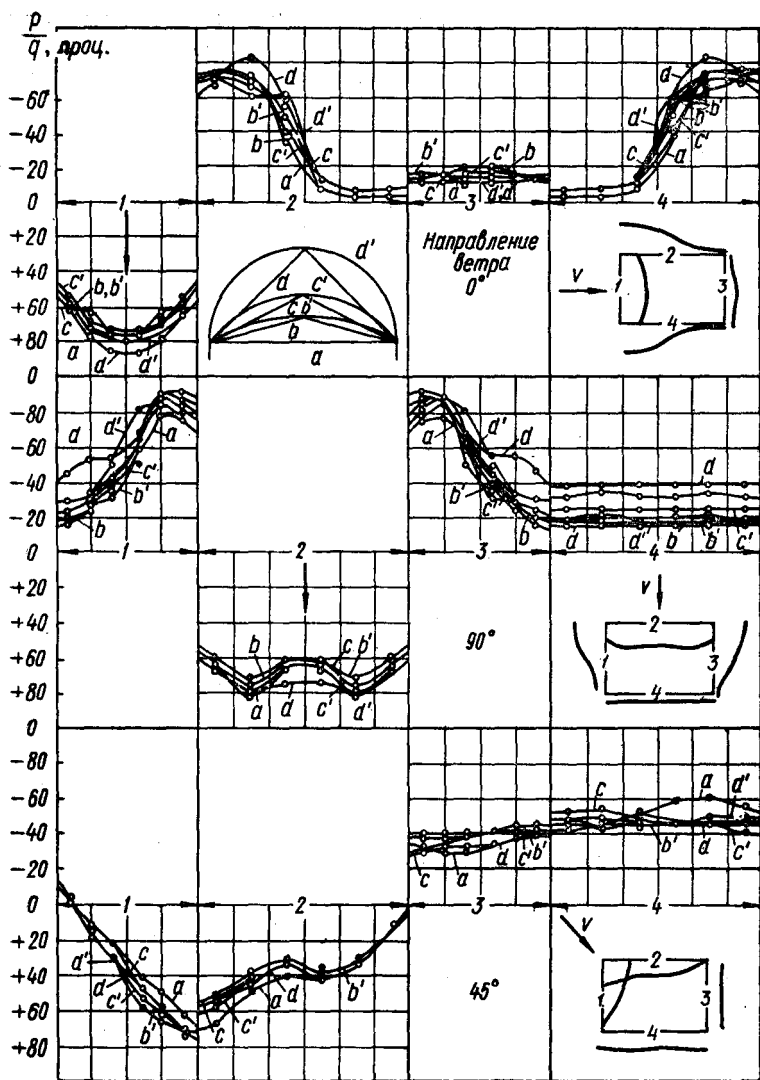


Рис. 1.2. Кривые распределения внешних давлений  $P$  (в проц. от скоростного напора  $q$ ) по периметру здания в зависимости от направления ветра и формы крыши:

1—4 — стены здания;  $a, b, b', c, c', d, d'$  — различные формы крыши.

нения в формировании ветровых нагрузок в двух измерениях. При обтекании длинных низких стен были зафиксированы вихри у их оснований, которые вносят значительные изменения в распределение давлений как по высоте, так и длине здания. Построены для фасадов и боковых сторон изобары.

Таким образом, из исследований советских и зарубежных авторов мы видим, что поле давления по периметру здания при обтекании его ветровым потоком неравномерно, и этот факт следует учитывать при расчете зданий по пространственным расчетным схемам. Здесь следует отметить два существенных момента: во-первых, общая расчетная нагрузка может быть уменьшена, так как наибольшие

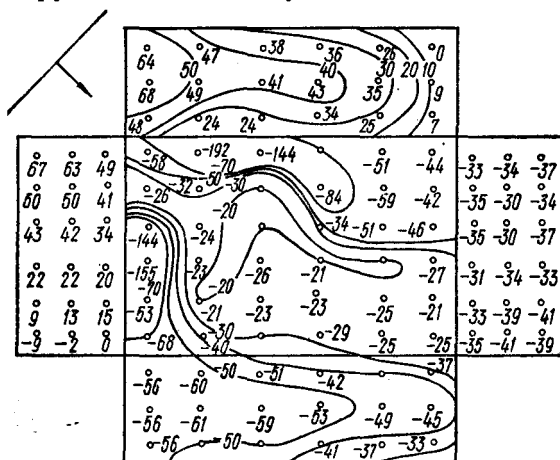


Рис. 1.3. Изобарическая карта внешних давлений,  $\text{кг/м}^2$ , при скорости ветра  $v = 40$  м/сек. Направление ветра —  $45^\circ$ .

давления не могут возникать одновременно по всей длине здания; во-вторых, уточнение закона распределения нагрузки по периметру здания, наряду с учетом поворота и изгиба перекрытий в своей плоскости, позволит более реально оценить нагрузки, приходящиеся на отдельные его элементы.

### § 3. ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЕТРА НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Пульсацию скоростного напора ветра (рис. 1.4) можно рассматривать как воздействие сил нерегулярного характера. Ветровая нагрузка, порождаемая пульсациями скоростного напора, представляет собой случайное поле давлений, неоднородное по высоте и длине здания. В связи с этим для решения рассматриваемой задачи необходимо воспользоваться теорией случайных процессов.

В работе [3] предложена практически удобная гипотеза представления турбулентного потока ветра. Она состоит в том, что на некоторую в среднем установившуюся скорость ветра накладываются пульсации скоростного напора ветра. Последний, соответствующий установившемуся ветру, действует статически. В среднем установившийся турбулентный поток ветра приближенно рассматривается автором [3] как стационарный случайный процесс, оказывающий на здание динамическое воздействие. Гипотеза о наложении по-

токов давно используется в гидромеханике, аэродинамике, метеорологии. Гипотеза стационарности и гармонический анализ случайных функций широко применяется в радиотехнике и самолетостроении.

Для учета динамического воздействия ветра на сооружения используется теория случайных процессов.

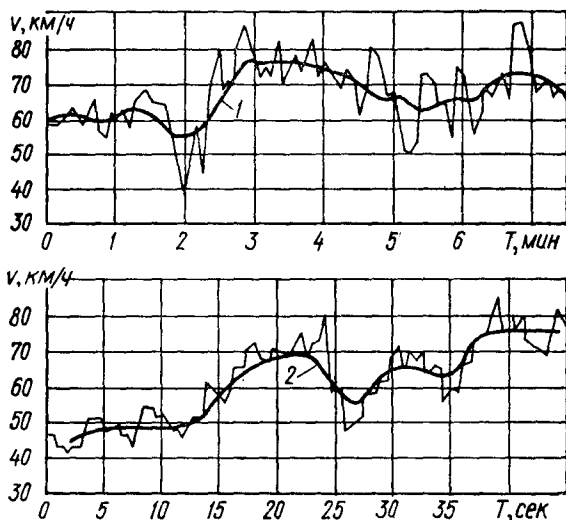


Рис. 1.4. Записи пульсаций скорости ветра на высоте 15,24 м от уровня земли:  
1 — одноминутные средние записи скорости ветра; 2 — то же пятисекундные.

Нормированные корреляционные функции турбулентного ветрового потока определяются по следующей приближенной формуле

$$R(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} (\cos \beta\tau + \mu \sin \beta\tau), \quad (3.1)$$

где  $\mu \leq \frac{\alpha}{\beta}$ ;  $\tau$  — время корреляции;  $\alpha$ ,  $\beta$  — параметры, определяемые на основании обработки экспериментальных данных.

Для этой функции спектральная плотность имеет вид

$$\begin{aligned} S(\omega) &= 2 \int_0^{\infty} e^{-\alpha|\tau|} (\cos \beta\tau + \mu \sin \beta\tau) \cos \omega\tau d\tau = \\ &= 2 \frac{(\alpha - \mu\beta) \omega^2 + (\alpha + \mu\beta) m^2}{\omega^4 + 2a\omega^2 + m^4}, \end{aligned} \quad (3.2)$$

где  $m^2 = \alpha^2 + \beta^2$ ;  $a = \alpha^2 - \beta^2$ .

При  $\mu = 0$

$$\left. \begin{aligned} R(\tau) &= e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau; \\ S(\omega) &= 2\alpha \frac{\omega^2 + m^2}{\omega^4 + 2a\omega^2 + m^4}. \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

На рис. 1.5 приведены корреляционные функции  $R(\tau)$  для пульсаций скоростного напора ветра. Для характеристики динамических свойств линейной системы определим ее реакцию на элементарное воздействие вида

$$F(t) = e^{i\omega t}.$$

Как известно, уравнение движения системы с конечным числом степеней свободы, с учетом затухания и при наличии возмущающих

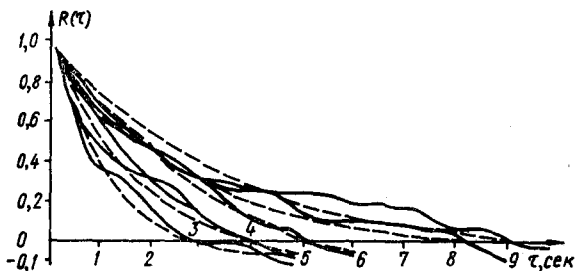


Рис. 1.5. Корреляционные функции  $R(\tau)$ : сплошная линия — экспериментальные (по записям ветра на Нефтяных камнях в Каспийском море); пунктирная — аппроксимирующие функции (по формуле 3.1).

сил, действующих на каждую массу, можно представить в виде

$$\sum_{k=1}^l a_{jk}(p) X_k = F_j(t) \quad (j = 1, \dots, l), \quad (3.4)$$

где  $a_{jk}$  — операторы, определяемые по формуле

$$a_{jk}(p) = \begin{cases} m_j p^2 + (u + iv) c_{jk} & (j = k); \\ (u + iv) c_{jk} & (j \neq k); \end{cases}$$

$$p = \frac{d}{dt}; \quad u = \frac{4 - \gamma^2}{4 + \gamma^2}; \quad v = \frac{4\gamma}{4 + \gamma^2}; \quad \gamma = \frac{\delta}{\pi};$$

$\delta$  — логарифмический декремент;  $c_{jj}$ ,  $c_{jk}$  — коэффициенты жесткости системы;  $m_j$  — масса в точке  $j$ .

Положив величину элементарного воздействия  $F(t) = e^{i\omega t}$  и реакцию системы  $X(t) = \Phi(i\omega) F(t)$ , получим частное решение уравнения (3.4) в следующем виде:

$$\Phi(i\omega) = \frac{b_m (i\omega)^m + b_{m-1} (i\omega)^{m-1} + \dots + b_1 (i\omega) + b_0}{a_n (i\omega)^n + a_{n-1} (i\omega)^{n-1} + \dots + a_1 (i\omega) + a_0}. \quad (3.5)$$

Величина  $\Phi(i\omega)$  является передаточной функцией сооружения, которая для системы с одной степенью свободы равна

$$\Phi(i\omega) = \frac{1}{m_1 [-\omega^2 + (u + iv)\omega_1^2]}. \quad (3.6)$$



Квадрат модуля этой функции определяется по формуле

$$|\Phi(i\omega)|^2 = \frac{1}{m_1^2 (\omega^4 - 2i\omega\omega_1^2\omega^2 + \omega_1^4)}, \quad (3.7)$$

где  $\omega_1$  — круговая частота собственных колебаний системы.

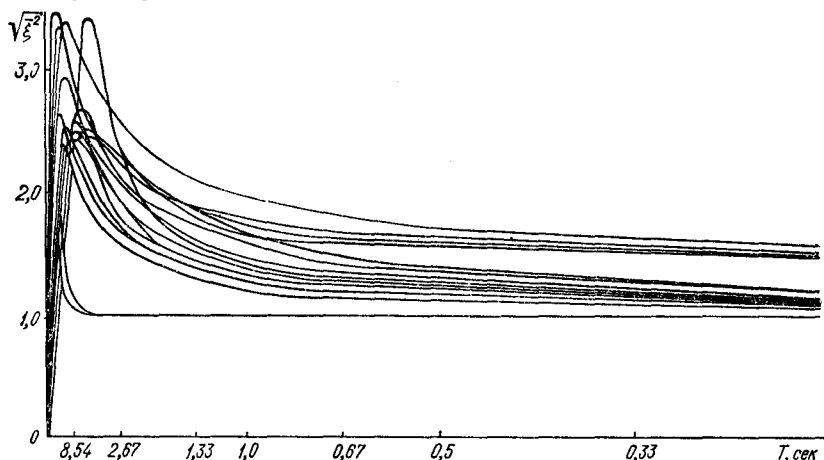


Рис. 1.6. Графики зависимости величины  $\sqrt{\xi^2}$  от периода  $T$  собственных колебаний.

Среднее квадратичное значение реакций для этой системы имеет вид

$$\begin{aligned} \bar{X}^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) |\Phi(i\omega)|^2 d\omega = \\ &= \frac{B(0) \psi \left[ \frac{1}{2\alpha} (1 + p^2/m^2) \omega_1^3 + 1/\gamma (1 + p^2\gamma^2/m^2) \omega_1^2 + 2\alpha\omega_1 p^2/m^2 + p^2/\gamma \right]}{m_1^2 \omega_1^3 [\omega_1^4 + 2\alpha\gamma\omega_1^3 + (4\alpha^2 + \gamma^2 m^2 - 2m^2) \omega_1^2 + 2\alpha\gamma m^2 \omega_1 + m^4]} \end{aligned} \quad (3.8)$$

где  $S(\omega) = 2B(0) \psi \frac{\omega^2 + p^2}{\omega^4 + 2a\omega^2 + m^4}$  — спектральная плотность;

$$B(0) = \bar{F}^2(t); \quad \psi = \alpha - \mu\beta; \quad p^2 = \frac{(\alpha + \mu\beta) m^2}{\alpha - \mu\beta}.$$

Располагая значениями передаточной функции сооружения и спектральной плотностью воздействия на него, для системы с одной степенью свободы запишем среднее квадратичное значение динамических перемещений сооружения и коэффициент динамичности как

$$\bar{X}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) |\Phi(i\omega)|^2 d\omega; \quad \bar{\xi}^2 = \frac{\bar{X}^2 m_1^2 \omega_1^4}{B(0)}. \quad (3.9)$$

Графики величины  $\sqrt{\xi^2}$  приведены на рис. 1.6. Они были положены в основу при построении нормативного графика динамического коэффициента  $\xi$  (рис. 1.7) с учетом материала, из которого выполнено сооружение.

Расчетная ветровая нагрузка на сооружение с учетом коэффициента увеличения расчетного скоростного напора  $\beta$  определяется по формуле

$$q = \beta k Q_p S, \quad (3.10)$$

где  $Q_p$  — расчетный скоростной напор ветра;  $k$  — аэродинамический коэффициент;  $S$  — площадь проекции участка на плоскость, перпендикулярную направлению ветра. Коэффициент  $\beta$ , учитывающий динамическое воздействие порывов ветра на сооружение, вычисляется по формуле

$$\beta = 1 + \xi m, \quad (3.11)$$

Рис. 1.7. Расчетные графики для динамического коэффициента  $\xi$  металлических (а) и железобетонных (б) конструкций.

где  $\xi$  — коэффициент динамичности, зависящий от периода собственных колебаний сооружения  $T$  и логарифмического декремента сооружений  $\delta$ ;  $m$  — коэффициент пульсации скоростного напора, определяемый по табл. 12 СНиП II-A. 11—62.

Данные табл. 12 получены для различных высот в результате использования следующей степенной зависимости:

$$m_x = m_{20} \left( \frac{20}{x} \right)^{1/n},$$

где  $m_{20}$  — коэффициент пульсации скоростного напора ветра для отметки 20 м, принимаемый равным 0,35;  $n$  — параметр, принимаемый в первом приближении от 8 до 12.

#### § 4. НОРМАТИВНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПУТИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Дальнейшее совершенствование методики расчета высоких сооружений, колеблющихся в турбулентном потоке, отражено в предложениях ЦНИИСКа по изменению пункта 6.5 главы II-A. 11—62 СНиП. В 1965 г. в СНиП были внесены изменения, согласно которым расчетная схема зданий повышенной этажности в виде системы с одной степенью свободы заменена системой с  $n$  степенями свободы. В этом случае расчетная ветровая нагрузка определяется по следующей формуле:

$$p_k = q_k S_k + M_k \sqrt{\sum_{i=1}^n \xi_i^2 \eta_{ik}^2}, \quad (4.1)$$

$$\text{где } \eta_{ik} = \frac{X_i(x_k) \sum_{k=1}^n X_i(x_k) q_k S_k m_k}{\sum_{k=1}^n X_i^2(x_k) M_k} \text{ — коэффициент, зависящий от вида}$$

$i$ -й формы собственных колебаний здания  $X_i(x_k)$  и от расположения масс  $M_k$ .

В формуле (4.1) первое слагаемое учитывает статическое действие расчетного скоростного напора, а второе — динамическое воздействие турбулентной пульсации ветра.

Для зданий с числом этажей  $n \geq 10$  или с соотношением высоты к наименьшему размеру в плане более пяти коэффициент пульсации скоростного напора ветра  $m$  принимается постоянным по всей высоте здания — 0,2.

Изложенный выше метод имеет следующие недостатки: расчетная схема здания принята крайне упрощенной и не соответствует экспериментальным данным натурных испытаний последних 5—7 лет; расчетная модель ветрового воздействия также крайне упрощена: не учитывается изменение коэффициента пульсации скоростного напора ветра по периметру здания, в то время как наблюдения и эксперименты показывают, что масштаб пространственной неоднородности поля давлений сравним с размерами зданий; динамический коэффициент определяется как функция периодов собственных колебаний зданий, хотя, как известно из динамики сооружений, он зависит от соотношения периодов (частот) возмущающих воздействий и собственных колебаний; не учитывается взаимная корреляция обобщенных координат.

В последнее время предпринимаются попытки в рамках принятых нормами расчетных концепций улучшить метод расчета.

В заключение кратко остановимся на важнейших задачах, стоящих перед исследователями в области теории расчета зданий на динамические воздействия ветра.

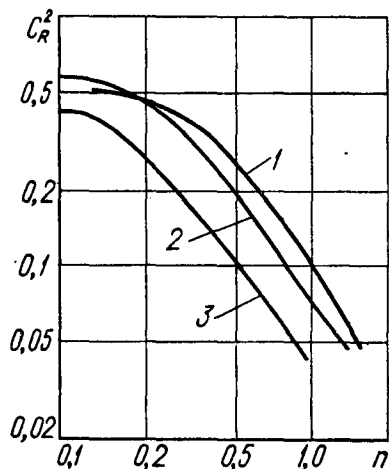
До недавнего времени в нашей стране возводились преимущественно пятиэтажные дома, однако в настоящее время общепризнано, что продолжать строительство малоэтажных зданий не экономично. Так, в новой пятилетке будут возводиться в основном 9-, 12- и 16-этажные дома. Строить дома из железобетона — сложная инженерная задача. К сожалению, следует признать, исследователи-механики своевременно не подготовили научную основу для создания надежных практических методов расчета зданий повышенной этажности на ветровую нагрузку, которая для них является основной. Поэтому даже такое монументальное здание, как здание СЭВ в Москве, рассчитано лишь на статическое воздействие ветра, да и то приближенно на основе консольной расчетной схемы.

Чтобы ликвидировать отставание теории от нужд практики, необходимо проводить модельные (в аэродинамической трубе) и особенно натурные испытания зданий. Без этого невозможно

создать достаточно обоснованную теорию, учитывающую вопросы взаимодействия высоких и протяженных зданий с турбулентным потоком ветра.

В литературе отсутствуют данные о синхронных записях пульсации скоростного напора ветра по высоте и длине зданий и о пространственно-временных статистических характеристиках ветрового поля давлений.

Автором работы [29] экспериментально получен график передаточной функции (рис. 1.8), с помощью которой осуществляется переход от скорости турбулентного потока ветра к давлению на



сооружение. Теоретического обоснования этого графика пока еще нет. В последние годы весьма интенсивно разрабатываются теория и практические методы расчета зданий, рассматриваемых как пространственные структуры [10, 13, 19].

Рис. 1.8. Графики зависимости квадрата передаточной функции  $C_R^2$  от приведенной частоты  $n$  пульсации ветрового потока (по замерам в аэродинамической трубе):

1 — для пластин с соотношением сторон  $\frac{a}{b} = 1$ ; 2 — то же для  $\frac{a}{b} = 3$ ; 3 — то же для  $\frac{a}{b} = 4$ .

При расчете на статическое воздействие скоростного напора ветра основные теоретические трудности уже преодолены, разрабатываются удобные практические методы расчета с использованием (и без использования) ЭВМ. Хуже обстоит дело с расчетом зданий на динамические воздействия.

Как отмечалось ранее, при использовании пространственной расчетной модели зданий необходимо учитывать взаимную корреляцию обобщенных координат. Учет этого фактора приводит не только к количественным переоценкам величин динамических нагрузок, но и к качественно отличным результатам. Разделение переменных в дифференциальных уравнениях в частных производных в этом случае фактически не происходит. Поэтому не имеет смысла говорить, как это делается в нормах, о динамическом коэффициенте линейного осциллятора. В случае учета взаимной корреляции обобщенных координат метод Фурье применяется формально и приводит, в конечном счете, к системе уравнений линейных осцилляторов, взаимно связанных через правые части.

Следовательно, нормативные методы расчета нуждаются не в уточнении, а в коренной перестройке.

Один из вариантов усовершенствованных методов расчета зда-

ний на динамическое воздействие ветра, с учетом взаимной корреляции пространственных форм колебаний, разработан авторами данной книги. Здесь приводятся также расчеты по нормам, с использованием нормативной кривой динамического коэффициента, но для пространственных расчетных моделей зданий.

Другой возможный вариант усовершенствования метода расчета — использование гипотезы замораживания Тейлора, широко применяющейся в прикладной метеорологии. Она позволяет трансформировать временное поле скоростей (по записям в одной точке) в пространственное. Более строгие решения должны, конечно, базироваться на достижениях теорий турбулентности А. Н. Колмогорова, А. И. Обухова, А. С. Монина. Что касается влияния на прочность зданий одиночных порывов различной формы и шквалов (ураганов) ветров, то эти вопросы не исследованы. В самолетостроении расчеты на действие одиночных порывов разработаны и давно применяются на практике. Они сравнительно легко могут быть перенесены и на расчет зданий. При разработке методов расчета зданий на действие шквала следует обратить внимание на работу [27], посвященную первому теоретическому объяснению механизма образования шквала и воздействия его на сооружение.

Изложенные выше способы расчета основаны на предположении упругой работы конструкций и оснований и не учитывают не только физической нелинейности, но и отдельных повреждений, обуславливающих так называемую приспособляемость сооружений. Гипотеза сплошности, составляющая основу классической механики сплошной среды и строительной механики, для современных сборных зданий неприемлема. Всякого рода нарушения сплошности и неподдающиеся пока расчету местные деформации и напряжения в целом играют весьма существенную роль в общей оценке прочности и напряженно-деформированного состояния здания. Поэтому для решения проблемы нужны существенно новые подходы, базирующиеся, по-видимому, на вероятностных оценках уменьшения жесткостных характеристик при разных уровнях нагрузок и на новых минимаксимальных критериях, позволяющих отыскивать оптимальную политику на каждом шаге интегрирования уравнений, описывающих состояние системы.

Другой недостаток реферируемых выше работ заключается в их некоторой непоследовательности. С одной стороны, для расчета использован современный аппарат строительной механики, с другой же — упрощенные и недостаточно обоснованные расчетные модели внешних воздействий, в связи с чем строгие методы расчета жотчи насильственно втиснуты в узкие рамки норм, которые к настоящему времени сильно устарели.

Отсутствие необходимых контактов между специалистами разных областей приводит к ряду ошибочных утверждений. Например, метеорологи неправильно трактуют роль высокочастотной части спектра флуктуаций на работу зданий и сооружений. Автор работы [16] считает, что для зданий, перпендикулярная к потоку

площадь которых велика по сравнению с произведением типичных значений вертикального и поперечного масштабов продольных пульсаций скорости, эффект порывистости можно считать несущественным ввиду частичной взаимной компенсации действия порывов противоположного направления. С этим утверждением нельзя согласиться, так как порывы противоположного направления возбуждают опасные крутильные колебания здания (в плане).

Для того, чтобы ликвидировать указанную диспропорцию в развитии строительной механики и прикладной метеорологии, необходимо организовать совместные натурные и модельные исследования ветровых нагрузок на здания и сооружения.