ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 56728— 2015

ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Научно-исследовательским институтом механики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (НИИ механики МГУ))

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 ноября 2015 г. № 1892-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Ноябрь 2019 г.

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2016, 2019

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции

Buildings and constructions. Method for determining wind loads on the building envelope

Дата введения — 2016—05—01

1 Область применения

Настоящий стандарт уточняет и дополняет требования СП 20.13330.2011 по назначению внешних ветровых нагрузок, учитываемых при расчетах зданий и сооружений по предельным состояниям первой и второй групп, в соответствии с положениями ГОСТ 27751 и распространяется на ограждающие конструкции высотных зданий и сооружений.

Дополнительными являются следующие положения:

1.1 Введено понятие «нормативный (эталонный) ветер», как схематизированная модель приземного пограничного слоя (ППС), и дана его математическая формулировка для использования при постановке задач аэрофизического и компьютерного моделирования ветровых нагрузок.

1.2 Выделен естественный характерный масштаб нормативного ветра, на этом основании конкретизировано понятие «высокое здание» и определен параметр аэродинамического подобия — «коэффициент высоты».

1.3 Определен универсальный критерий нормативного ветрового воздействия — «базовый (основной) аэродинамический коэффициент» внешних ветровых нагрузок и указана его связь с соответствующими частными определениями аэродинамических коэффициентов по СП 20.13330.2011.

1.4 Установлена методика (правила) определения базового аэродинамического коэффициента на основе экспериментального (аэрофизического) и компьютерного (численного) моделирования.

Примечание — В настоящем стандарте регламентированы способы определения только стационарной составляющей ветровой нагрузки. Вопросы определения пульсационных составляющих ветровой нагрузки необходимо решать через установление отдельного стандарта на характеристики турбулентности и нестационарных порывов для нормативного ветра. Приближенные методики оценки пульсационной составляющей ветровой нагрузки приведены в СП 20.13330.2011.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты и документы:

ГОСТ 27751 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

ГОСТ 4401 Атмосфера стандартная. Параметры

СП 20.13330.2011 СНиП 2.01.07—85* Нагрузки и воздействия

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого

Издание официальное

стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии ссылочного свода правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

3 Термины, определения, обозначения и единицы измерения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **приземный пограничный слой, ППС:** Прилегающий к поверхности земли слой атмосферного воздуха толщиной до 500 м.

3.1.2 **типы (шероховатости) местности:** Принятая в строительной отрасли Российской Федерации классификация (A, B, C) характерных уровней шероховатости земной поверхности, влияющей на распределение по высоте скорости ветра в ППС, определяют по классификатору, приведенному в СП 20.13330.2011.

3.1.3 **ветровые районы:** Территории (Ia, I, II, III, IV, V, VI, VII) Российской Федерации, отличающиеся по величине нормативного значения ветрового давления, определяют по карте 3 приложения Ж, приведенного в СП 20.13330.2011.

3.1.4 **нормативное значение ветрового давления:** Характерный скоростной напор нормативного ветра для каждого ветрового района, определяют по классификатору, приведенному в СП 20.13330.2011.

3.1.5 **нормативный (эталонный) ветер:** Схематизированная модель ППС, задаваемая для определения нормативной ветровой нагрузки на проектируемые сооружения.

Примечание — Представляет собой однонаправленное горизонтальное перемещение воздуха с заданным изменением среднего скоростного напора по высоте ППС (изменение атмосферного давления, плотности и вязкости воздуха по высоте в ППС не учитывается).

3.1.6 **линейный масштаб нормативного ветра:** Высота над уровнем земли, на которой скоростной напор нормативного ветра для данного типа местности равен нормативному значению ветрового давления для данного ветрового района.

3.1.7 **высокое здание:** Сооружение, высота которого превышает линейный масштаб нормативного ветра.

Примечание — Относительное понятие, зависящее от типа шероховатости местности и азимута настилающего ветра.

3.1.8 **коэффициент высоты:** Отношение геометрической высоты проектируемого здания к линейному масштабу нормативного ветра.

3.1.9 **нормативная ветровая нагрузка:** Результирующее распределение избыточного давления на ограждающих конструкциях проектируемого сооружения в условиях обтекания нормативным ветром с учетом интерференции от аэродинамически значимых соседних объектов.

3.1.10 **аэродинамическая интерференция:** Эффект взаимного влияния соседних сооружений и их элементов на обтекание и распределение ветровых нагрузок на ограждающих конструкциях объекта.

3.1.11 **аэродинамически значимый объект:** Здание, сооружение или иной объект, высота которого превышает уровень высоты шероховатости для данного типа местности.

3.1.12 **нормативное значение средней ветровой нагрузки:** Стационарная составляющая нормативной ветровой нагрузки.

3.1.13 **аэродинамический коэффициент:** Безразмерная величина, устанавливающая пропорциональность между скоростным напором настилающего ветра и результирующим избыточным давлением на ограждающих конструкциях сооружения.

3.1.14 **настилающий ветер:** Перемещение воздушных масс в ППС, не возмущенном рассматриваемым сооружением.

3.1.15 **экспериментальное (аэрофизическое) моделирование:** Реализация в аэродинамической трубе обтекания макета проектируемого сооружения и объектов окружающей застройки неравномерным воздушным потоком, имитирующим нормативный ветер.

3.1.16 h_q**-фактор:** Отношение скоростных напоров неравномерного потока воздуха на уровне высоты макета здания и на уровне половины этой высоты при аэрофизическом моделировании.

Примечание — Используется для контроля соответствия фактической неравномерности потока в аэродинамической трубе нормативному ветру.

3.1.17 **автомодельность по числу Рейнольдса:** Для безразмерных аэродинамических коэффициентов свойство независимости от критерия «число Рейнольдса», начиная с некоторого достаточно большого значения этого критерия.

3.1.18 **CFD** (от англ. computational fluid dynamics): Семейство компьютерных вычислительных технологий решения систем уравнений механики сплошной среды, описывающих процесс обтекания тел (в данном случае — низкоскоростным воздушным потоком).

3.1.19 **компьютерное (численное) моделирование:** Численное воспроизведение методами CFD-технологий обтекания проектируемого сооружения и аэродинамически значимых элементов окружающей застройки нормативным ветром.

3.1.20 **виртуальная аэродинамическая труба:** Реализация в рамках CFD-технологий условий аэрофизического эксперимента в аэродинамической трубе с учетом масштаба моделирования объекта и нормативного ветра.

3.2 Обозначения и единицы измерения

Обозначения и единицы измерения количественных параметров и функций, применяемых при определении основного коэффициента внешних ветровых нагрузок, использованные в настоящем стандарте, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Термин	Обозначение, единица измерения	Определение	Примечание
Координата по высоте	z, м	Расстояние по вертикали от поверхности земли	Отсчитывают от уровня основания сооружения, $z > 0$
Атмосферное давление	p_a, Па	Параметры атмосферы	Определяют по ГОСТ 4401 для уровня на поверхности земли
Плотность воздуха	ρ, кг/м^3		
Динамический коэффициент вязкости	μ, Па · с		
Скорость нормативного ветра	U, м/с	Стационарная составляющая скорости горизонтального перемещения воздушных масс в ППС на высоте z	Возрастает с увеличением высоты z по степенному закону
Скоростной напор (ветровое давление)	q, Па	$q = 0{,}5\ \rho\ U^2$	—
Азимут ветра	φ, град	Угол, определяющий направление ветра в горизонтальной плоскости по отношению к сооружению	Может характеризоваться привязкой к направлению частей света (север, юг и т. д.)
Нормативное значение ветрового давления	w_0, Па	Характерный уровень скоростного напора ветра	Назначают в зависимости от ветрового района по таблице 2 независимо от типа местности
Характерная скорость нормативного ветра	U_0, м/с	$U_0 = (2\ w_0/\rho)^{0,5}$	Соответствует скоростному напору ветра $q = w_0$
Линейный масштаб	z_0, м	Параметр нормативного ветра: высота $z = z_0$, на которой $q(z) = w_0$	—
Показатель степени в формуле нормативного ветра	α, безразм.	Параметр степенного закона, определяющего изменение скоростного напора нормативного ветра по высоте z	Зависит от типа местности, назначают по таблице 4

Окончание таблицы 1

Термин	Обозначение, единица измерения	Определение	Примечание
Избыточное давление	Δp, Па	$\Delta p = p - p_a$	—
Ветровая нагрузка	w_m, Па	Стационарная составляющая избыточного давления на ограждающих конструкциях ($w_m = \overline{\Delta p}$)	Определяют для нормативного ветра
Аэродинамический коэффициент	c, безразм.	Сомножитель в выражениях (3), (4) для определения w_m	Принимают по приложению «Д» в СП 20.13330.2011
Базовый (основной) аэродинамический коэффициент	C_m, безразм.	$C_m = \overline{\Delta p}/q(z_0)$, где z_0 — линейный масштаб нормативного ветра (см. выше)	Определяют для нормативного ветра методами аэрофизического и/или компьютерного моделирования
Высота здания	h, м	Высота проектируемого сооружения	—
Коэффициент высоты	H, безразм.	$H = h/z_0$	Критерии подобия
Число Рейнольдса	Re, безразм.	$\mathrm{Re} = \rho\, U_0\, h/\mu$	
Коэффициент геометрического подобия	N, безразм.	Масштаб макета	
Высота уменьшенного макета здания	$h_т$, м	$h_т = h/N$	Используется при аэрофизическом/компьютерном моделировании
«h_q-фактор»	h_q, безразм.	$h_q = q(h_т)/q(h_т/2)$	Характеризует достигнутую при аэрофизическом моделировании неравномерность воздушного потока по сравнению с нормативным значением по таблице 6

4 Общие положения

4.1 Нормативный ветер

4.1.1 ППС — характерное для данной местности горизонтальное перемещение воздушных масс в слое атмосферы толщиной до 500 м от поверхности земли.

4.1.2 Структура (профиль) ППС характеризуется законом изменения среднего скоростного напора $q(z)$ и параметров естественной турбулентности (пульсаций скорости и воздушных порывов) по вертикальной координате ($z > 0$).

4.1.3 Местность, над которой формируется ППС, различают по климатическим районом и типам шероховатости поверхности. В СП 20.13330.2011 дана классификация территорий Российской Федерации по разновидностям ветровых районов и типам шероховатости местности, влияющим на профиль ППС.

4.1.4 Нормативную ветровую нагрузку на ограждающие конструкции зданий и сооружений (далее — объект) определяют для заданного характерного (эталонного) профиля ППС, не возмущенного самим объектом. Схематизированный профиль ППС, задаваемый для определения нормативной ветровой нагрузки, называют нормативным ветром. При определении параметров нормативного ветра учитывают разновидность ветровых районов и типов шероховатости местности.

4.1.5 Нормативный ветер характеризуется заданным законом увеличения среднего скоростного напора $q(z)$ с высотой над уровнем земли в месте расположения объекта строительства. В настоящем стандарте принят степенной закон, соответствующий заданному в СП 20.13330.2011 изменению нормативного ветрового давления по высоте z (см. 4.2).

Примечание — В мировой практике получили распространение два варианта закона увеличения среднего скоростного напора $q(z)$ по мере увеличения высоты над поверхностью земли: степенной и логарифмический. Однако соответствующие отличия не принципиальны.

4.2 Математическая модель

4.2.1 Нормативный ветер — однонаправленное горизонтальное перемещение воздуха с трехпараметрическим степенным законом изменения среднего скоростного напора

$$q(z) = w_0 (z/z_0)^{2\alpha}, \quad (1)$$

по толщине ППС $0 < z < 500$ м. Градиенты атмосферного давления p_a и плотности атмосферного воздуха ρ не учитываются.

Соответствующее формуле (1) распределение средней скорости ветра U по высоте z над уровнем земли определяется уравнениями

$$U(z) = U_0 (z/z_0)^{\alpha}, \; U_0 = (2 w_0/\rho)^{0,5}. \quad (2)$$

Здесь параметр w_0 определяется разновидностью ветрового района, а параметры z_0 и α — типом шероховатости местности независимо от ветрового района.

4.2.2 Величина z_0 в формуле (1) имеет размерность длины и может трактоваться как линейный масштаб нормативного ветра. Физический смысл параметра z_0 состоит в том, что он определяет высоту $z = z_0$ над уровнем земли, на которой скоростной напор в нормативном ветре равен нормативному ветровому давлению w_0 для данного ветрового района. Наличие характерного линейного масштаба z_0 в нормативном ветре дает возможность конкретизировать понятие высокое здание как объект, высота h которого превышает линейный масштаб нормативного ветра z_0. Отношение $H = h/z_0$, где H — коэффициент высоты, является одним из основных критериев аэродинамического подобия при моделировании ветровых воздействий на высотные здания.

Примечание — В отличие от общего названия «высотное здание» термин «высокое здание» имеет строго определенный (в настоящем разделе) математический смысл.

4.3 Выбор параметров нормативного ветра

Нормативное значение ветрового давления w_0 для метеоусловий места строительства принимают по таблице 2 в зависимости от разновидности ветрового района (Ia, I, II, ... VII) на карте Российской Федерации по классификатору, приведенному в СП 20.13330.2011.

Типы А, В или С шероховатости земной поверхности определяют по таблице 3 для местности, расположенной с наветренной стороны строительной площадки. Сооружение высотой h считается расположенным на местности с шероховатостью данного типа, если эта местность сохраняется с наветренной стороны сооружения на расстоянии 30 h при h ниже 60 м и на расстоянии порядка 2,0 км при h выше 60 м.

Значения параметров нормативного ветра в формуле (1) для различных типов местности принимают по таблице 4.

Примечание — Типы местности могут быть различными для разных направлений настилающего ветра по отношению к сооружению. По критерию H (см. 4.2.2) для типа местности С высокими могут считаться здания при h выше 60 м, а для местности типа А достаточно h выше 10 м.

Таблица 2 — Нормативное значение ветрового давления

Ветровой район	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
Нормативное значение ветрового давления, w_0, Па	170	230	300	380	480	600	730	850

Таблица 3— Типы местности

Типы	Описание
A	Пустыни, степи, лесостепи, тундра, открытые побережья морей, озер, водохранилищ, местности с постройками высотой менее 10 м
B	Городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой от 10 до 25 м
C	Городские районы с плотной застройкой зданиями высотой более 25 м

Таблица 4 — Значения параметров нормативного ветра

Тип местности	A	B	C
z_0, м	10	30,5	60
α	0,15	0,20	0,25

Примечание — Для типа местности А скоростной напор $q(z)$ в нормативном ветре достигает значения нормативного ветрового давления w_0 на высоте z_0 = 10 м. С увеличением степени шероховатости местности профиль скоростного напора (1) деформируется таким образом, что значение нормативного ветрового давления $w_0 = q(z_0)$ достигается на существенно большей высоте $z = z_0$ над уровнем земли (см. таблицу 4). Это полностью согласуется с табличными данными СП 20.13330.2011 для коэффициента $k(z)$, учитывающего изменение ветрового давления по высоте z.

5 Методы определения нормативной ветровой нагрузки

5.1 Общие положения

Воздействие нормативного ветра приводит к формированию на ограждающих конструкциях здания результирующего распределения избыточного давления w. Осредненная по времени составляющая w_m этого распределения (нормативная средняя ветровая нагрузка) является важнейшей характеристикой, используемой для определения сил и моментов ветрового воздействия на проектируемые сооружения и элементы их конструкции при проведении оценочных прочностных расчетов на действие ветра. Величина w_m является также составной частью различных аналитических соотношений СП 20.13330.2011 для оценки пульсационных составляющих ветрового давления, пиковых ветровых нагрузок и др.

5.2 Аналитические методики

5.2.1 Среднюю ветровую нагрузку w_m традиционно определяют по формуле

$$w_m = w_0\, k(z)\, c, \tag{3}$$

где w_0 — значение нормативного ветрового давления для данного ветрового района;

c — аэродинамический коэффициент;

k — коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте z для нормативного типа местности в районе застройки. Величина k соответствует среднему скоростному напору в нормативном ветре $k(z) = q(z)/w_0$.

Согласно модифицированному определению в СП 20.13330.2011 нормативную среднюю ветровую нагрузку w_m определяют из усложненной по сравнению с формулой (3) формулы

$$w_m = w_0\, k(z_e)\, c, \tag{4}$$

в которой аргумент z_e второго сомножителя задан таблицей 5 как функция координаты z и параметров h, d (высоты и характерного поперечного размера здания): $z_e = f(z, h, d)$.

Примечание — При одном и том же значении аэродинамического коэффициента c формулы (3) и (4) дают разные значения ветровой нагрузки w_m в нижней и верхней частях здания, тем самым формула (4) до некоторой степени учитывает концевые эффекты при пространственном обтекании удлиненных тел.

Таблица 5 — Функция $z_e = f(z, h, d)$ — «эквивалентная высота»

При $h > 2d$	При $d < h < 2d$	При $h < d$
$z_e(z) = \begin{cases} h, & z > h - d; \\ z, & d < z < h - d, \\ d, & 0 < z < d \end{cases}$	$z_e(z) = \begin{cases} h, & z > h - d; \\ d, & 0 < z < h - d \end{cases}$	$z_e = h$

5.2.2 Для практического использования формул (3), (4) необходимо априорно задавать аэродинамический коэффициент c. В СП 20.13330.2011 приведены числовые значения этого коэффициента для отдельно стоящих сооружений простейшей формы и малой этажности, а для остальных случаев рекомендовано проводить специальные экспериментальные исследования.

Примечание — Однако объективно не существует независимых от формул (3), (4) способов определения коэффициента c. В самом деле, при моделировании обтекания зданий и сооружений в аэродинамической трубе или с помощью компьютерных вычислительных технологий определяют (измеряют) непосредственно распределения ветрового давления $w_m = \overline{\Delta p}$ (см. 5.4) после чего для вычисления коэффициента c возможно только воспользоваться формулами (3), (4) с заданными функциями $k(z)$, $k(z_e)$. Поэтому требование экспериментально определять аэродинамический коэффициент c для подстановки в формулы (3), (4) контрпродуктивно.

5.3 Базовый (основной) аэродинамический коэффициент C_m

5.3.1 Для высоких зданий и сооружений ($H > 1$, см. 4.2.2) нормативную ветровую нагрузку следует определять на основании модельных исследований в специализированных аэродинамических трубах (см. 5.4) и/или с помощью специализированных компьютерных (вычислительных) технологий (см. 5.5). В том и другом случае осуществляется моделирование обтекания нормативным ветром проектируемого строительного сооружения с учетом интерференции от аэродинамически значимых объектов окружающей застройки. В ходе такого моделирования непосредственно измеряют (вычисляют) распределения ветрового давления (в том числе средней ветровой нагрузки w_m) в контрольных точках на внешних поверхностях макета сооружения.

5.3.2 Результаты измерения (расчета) w_m следует представлять в виде отношения

$$C_m = \frac{(w_m)_{\text{измеренное}}}{(q_0)_{\text{измеренное}}}, \tag{5}$$

где C_m — базовый (основной) аэродинамический коэффициент ветровой нагрузки;

q_0 — значение скоростного напора $q(z_0)$, измеренное в моделируемом нормативном ветре на высоте, соответствующей отметке $z = z_0$.

Примечание — Значение q_0 при моделировании не обязательно должно совпадать с нормативным значением w_0. Способы практического определения C_m приведены ниже в разделах 5.4—5.5.

5.3.3 Нормативное значение средней ветровой нагрузки w_m на ограждающие конструкции проектируемого объекта определяют по формуле

$$w_m = w_0 C_m. \tag{6}$$

Примечание — Базовый (основной) аэродинамический коэффициент ветровой нагрузки C_m — универсальный безразмерный критерий ветрового воздействия для исследуемого строительного объекта. В нем учитывается влияние всех факторов, влияющих на взаимодействие проектируемого здания с нормативным ветром, в том числе таких, как высота и форма сооружения, относительное направление и структура настилающего ветра, аэродинамическая интерференция от соседних соизмеримых объектов. При необходимости по C_m можно вычислить значения аэродинамического коэффициента c из формул (3),(4), как $c = C_m/k(z)$ или $c = C_m/k(z_e)$, однако это не имеет практического смысла.

5.4 Экспериментальное (аэрофизическое) моделирование

5.4.1 Целью аэрофизического моделирования является определение параметров взаимодействия проектируемого объекта с нормативным ветром.

5.4.2 Следует использовать аэродинамические трубы, оснащенные средствами создания неравномерного профиля скорости воздушного потока, имитирующего структуру нормативного ветра в соответствующем уменьшенном линейном масштабе.

5.4.3 Макет здания с элементами окружающей застройки изготавливают с соблюдением правил геометрического подобия. Высоту $h_т$ макета выбирают из условий соблюдения установленных для данной трубы ограничений на степень загромождения поперечного сечения рабочей части.

5.4.4 Величина $N = h/h_т$ является коэффициентом геометрического подобия макета по отношению к натурному объекту, обычно N находится в диапазоне от 100 до 400.

5.4.5 Для контроля неравномерности потока, реализованной в аэродинамической трубе, определяют h_q-фактор

$$h_q = q(h_т)/q(h_т/2), \tag{7}$$

представляющий собой отношение скоростных напоров потока, измеренных на уровне высоты макета здания $h_т$ и на уровне половины этой высоты. Отличие полученного значения h_q от величины $2^{2\alpha}$ (таблица 6) характеризует отклонение фактически реализованной неравномерности потока в аэродинамической трубе от нормативной по формуле (1) для заданного типа местности.

Таблица 6 — Нормативное значение h_q-фактора

Тип местности	A	B	C
$2^{2\alpha}$	1,23	1,32	1,41

5.4.6 При проведении испытаний макета сооружения в аэродинамической трубе непосредственно измеряют скоростной напор $q(h_т)$ набегающего потока на высоте $h_т$ и значения избыточного давления Δp_j в заданных контрольных дренажных точках j = 1, 2, ... на поверхности макета, по которым затем определяют безразмерный коэффициент давления

$$C_{pj} = \Delta p_j / q(h_т). \quad (8)$$

5.4.7 Характерную скорость воздушного потока в трубе выбирают достаточной для обеспечения автомодельности по числу Рейнольдса, когда дальнейшее увеличение скорости не приводит к существенному изменению осредненных значений $\overline{C}_{pj}$ в контрольных точках на макете.

5.4.8 Результаты экспериментов представляют в виде таблиц значений базового аэродинамического коэффициента C_m (см. 5.3.2) для заданных точек j на ограждающих конструкциях проектируемого объекта. Значения C_m определяют по формуле

$$C_m = \overline{C}_{pj} H^{2\alpha}, \quad (9)$$

где H — коэффициент высоты (см. 4.2.2);

$\overline{C}_{pj}$ — осредненное значение экспериментального коэффициента давления, полученного по формуле (8).

5.4.9 Сопроводительная документация должна содержать следующие контрольные сведения:

- наименование и принадлежность аэродинамической трубы (с указанием ее основных размеров, диапазона скоростей, характеристик турбулентности потока);
- способ создания неравномерного профиля скоростного напора, имитирующего нормативный ветер (искусственная шероховатость или поперечные решетки переменной густоты, или их комбинация и т. п.);
- значение фактически реализованного h_q-фактора;
- данные, подтверждающие соответствие условий эксперимента диапазону автомодельности по числу Рейнольдса.

Примечание — В настоящем стандарте не затрагиваются вопросы экспериментального определения пульсационных составляющих ветровой нагрузки. Эти вопросы необходимо решать через установление отдельного стандарта на характеристики турбулентности и нестационарных порывов для нормативного ветра. Приближенные методики оценки пульсационной составляющей ветровой нагрузки приведены в СП 20.13330.2011.

5.5 Компьютерное (численное) моделирование

5.5.1 Целью компьютерного моделирования является численное воспроизведение обтекания нормативным ветром проектируемого сооружения и аэродинамически значимых объектов окружающей застройки.

5.5.2 Результаты расчетов должны допускать возможность тестирования путем сравнения с экспериментальными данными, поэтому задача компьютерного моделирования должна ставиться по принципу «виртуальная аэродинамическая труба» с соответствующим переходом от натурных размеров объекта к виртуальному макету в масштабе 1: N (см. 5.4.4). Параметры нормативного ветра в формуле (1) также задаются с учетом выбранного масштаба виртуального макета сооружения.

Примечание — В данном случае не требуется определять h_q-фактор, поскольку при компьютерном моделировании масштабированный профиль нормативного ветра воспроизводится по формуле (1) точно.

5.5.3 Допускается применение любой из CFD-технологий, содержащих опцию решения задач нестационарного трехмерного обтекания твердых тел воздушной средой, с обязательным предоставлением результатов тестирования, включая обоснование точности и достоверности результатов численного моделирования в соответствии с общепринятыми профессиональными требованиями для задач рассматриваемого класса.

Примечание — Как правило, используют вычислительные технологии, базирующиеся на классической модели вязкой несжимаемой жидкости постоянной плотности при отсутствии внешних массовых сил.

5.5.4 В процессе проведения компьютерного моделирования непосредственно вычисляют значения избыточного давления Δp_j в заданных точках j = 1, 2, ... на поверхности фасадов и покрытия объекта. По этим данным проводят осреднение и вычисляют базовый (основной) аэродинамический коэффициент C_m по формуле

$$C_m = \overline{\Delta p}_j / w_0. \quad (10)$$

5.5.5 Результаты компьютерного моделирования представляют в виде таблиц значений базового аэродинамического коэффициента C_m для избранных точек j на ограждающих конструкциях проектируемого объекта.

5.5.6 Сопроводительная документация должна содержать контрольные сведения об использованной вычислительной технологии (научное наименование) и ее конкретных настройках (параметры расчетной области, граничные условия, уровень дискретизации), а также примеры компьютерной визуализации обтекания объекта и сведения о результатах тестирования (см. 5.5.3).

УДК 699.83:006.354 ОКС 91.080.01

Ключевые слова: здания и сооружения, ограждающие конструкции, ветровые воздействия, нормативный ветер, нормативная ветровая нагрузка, аэродинамический коэффициент, аэрофизический эксперимент, компьютерное моделирование

Редактор *О.В. Рябиничева*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 11.11.2019. Подписано в печать 20.11.2019 Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,18.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва. Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

ОКС 91.080.01

Изменение № 1 ГОСТ Р 56728—2015 Здания и сооружения. Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции

Утверждено и введено в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.12.2020 № 1355-ст

Дата введения — 2021—06—01

Раздел 1. Первый абзац и пункт 1.3. Заменить ссылку: «СП 20.13330.2011» на СП.20.13330».

Пункт 1.4. Исключить примечание.

Дополнить пунктом 1.5:

«1.5 Указан способ определения пиковых значений аэродинамического коэффициента».

Раздел 2 изложить в новой редакции:

«В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 4401 Атмосфера стандартная. Параметры

ГОСТ 27751 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету

СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных документов (сводов правил) в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов».

Раздел 3. Заменить ссылки:

Пункт 3.1.2. «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Пункт 3.1.3. «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Пункт 3.1.4. «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Подраздел 3.2. Таблица 1. Графа «Примечание» для термина «Аэродинамический коэффициент». Заменить слова: «Принимают по приложению «Д» в СП 20.13330.2011» на «Принимают по приложению «В» в СП 20.13330.2016».

Раздел 4. Заменить ссылки:

Пункт 4.1.3. «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Пункт 4.1.5. «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Подраздел 4.3. Первый абзац. Заменить ссылку: «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Примечание к таблицам 2—4. Заменить ссылку: «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Раздел 5. Подраздел 5.1. Заменить ссылку: «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Пункт 5.2.1. Второй абзац. Заменить ссылку: «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Пункт 5.2.2. Заменить ссылку: «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Пункт 5.4.9. Исключить примечание.

Раздел 5 дополнить подразделом 5.6:

«5.6 Пиковая ветровая нагрузка

5.6.1 При проектировании ограждающих конструкций фасадов (в том числе элементов навесных фасадных систем и светопрозрачных конструкций) необходимо учитывать значения пиковой положительной $w_{(+)}$ и отрицательной $w_{(-)}$ ветровой нагрузки, определяемой как абсолютный экстремум для всех возможных направлений φ нормативного настилающего ветра.

5.6.2 В соответствии с СП 20.13330 нормативные значения пиковой ветровой нагрузки $w_{(+)(-)}$ определяются по формуле

$$w_{(+)(-)} = w_0 k(z_e)(1 + \zeta(z_e))c_{p,(+)(-)}v_{(+)(-)}, \quad (11)$$

где w_0 — нормативное значение давления ветра (по таблице 2);

z_e — эффективная высота (по таблице 5);

k, ζ — коэффициенты, учитывающие изменение скоростного напора и его пульсаций в нормативном настилающем ветре на высоте z (СП 20.13330.2016, таблицы 11.2 и 11.4);

$c_{p,(+)(-)}$ — пиковые значения аэродинамического коэффициента положительного давления (+) или отсоса (–);

$v_{(+)(-)}$ — коэффициенты корреляции ветровой нагрузки, соответствующие положительному давлению (+) и отсосу (–), зависят от площади ограждения S, с которой собирается ветровая нагрузка (СП 20.13330.2016, таблица 11.8).

5.6.3 Коэффициенты k, ζ вычисляют по формулам:

$$k(z) = (z/z_0)^{2\alpha}, \tag{12}$$

$$\zeta(z) = \zeta_0(z/z_0)^{-\alpha}, \tag{13}$$

z_0 и α — определены в таблице 4;

ζ_0 — принимают по таблице 7.

Таблица 7 — Значения коэффициента ζ_0

Тип местности	A	B	C
ζ_0	0,76	0,85	1,14

5.6.4 При 2 м^2 ≤ S ≤ 20 м^2 значения коэффициентов корреляции $v_{(+)(-)}$ вычисляют по формулам:

$$v_{(+)} = 1{,}07 - 0{,}11\ln(S/\text{м}^2), \tag{14}$$

$$v_{(-)} = 1.10 - 0{,}15\ln(S/\text{м}^2), \tag{15}$$

при S < 2 м^2 – $v_{(+)} = v_{(-)} = 1$; при S > 20 м^2 – $v_{(+)} = 0{,}75$, $v_{(-)} = 0{,}65$.

5.6.5 Аэродинамические коэффициенты $c_{p,(+)(-)}$ как правило, должны определяться на основе результатов модельных испытаний сооружений в аэродинамических трубах.

Примечание — Доступные для инженерных расчетов современные CFD-технологии (5.5) не обеспечивают возможность адекватного расчета пульсационной составляющей ветрового давления на фасадах сооружений, поэтому применение аэрофизического моделирования остается необходимым элементом исследований при определении пиковых значений ветровой нагрузки на ограждающие конструкции.

5.6.6 В ходе модельных испытаний макетов зданий и сооружений в аэродинамической трубе (5.4) должны регистрироваться большие выборки (порядка 10 тыс. отсчетов) нестационарных показаний датчиков ветрового давления Δp_j в контрольных точках макета с достаточно подробным шагом по азимуту φ (не более 10°) в диапазоне 0°—360°. По ним определяют среднюю составляющую и среднеквадратическое отклонение. Нормировка этих величин на характерный скоростной напор $[q(z_0)]_T$ (5.4.8) определяет базовый аэродинамический коэффициент C_m (5.3) и его среднеквадратическое отклонение $\sigma(z, j, \varphi)$. Нормативные пиковые значения аэродинамического коэффициента $c_{p,(+)(-)}$ определяют по формуле

$$c_{p,(+)(-)} = \frac{C_{peak,(+)(-)}(z_e(z), j)}{k(z_e(z))}, \tag{16}$$

где

$$C_{peak,(+)}(z, j) = \max_{0°<\varphi<360°} [C_m(z, j, \varphi) + 3\sigma(z, j, \varphi)], \tag{17}$$

$$C_{peak,(-)}(z, j) = \max_{0°<\varphi<360°} [C_m(z, j, \varphi) - 3\sigma(z, j, \varphi)]. \tag{18}$$

Формула (16) позволяет находить аэродинамические коэффициенты $c_{p,(+)}$, $c_{p,(-)}$ с помощью величин формул (17), (18), определяемых непосредственно по данным измерений в аэродинамической трубе согласно 5.4.6.

5.6.7 В случае отдельно стоящих призматических зданий с плоскими стенами и различными типами формы угловых кромок допускается принимать $c_{p,(+)} = 1{,}2$ на всех фасадах. При этом аэродинами-

ческий коэффициент пикового отрицательного давления $c_{p,(-)}$ может изменяться в широком диапазоне. На плоских участках стен вне области угловых кромок фасадов ориентировочное значение $c_{p,(-)} = -1,2$. В области острых угловых кромок $c_{p,(-)}$ зависит от соотношения размеров прилегающих стен, экстремальное значение $c_{p,(-)} = -2,2$. В случае плавно скругленных угловых кромок возможны экстремальные значения вплоть до $c_{p,(-)} = -4,0$.

Примечание — Ширина области угловой кромки вертикального фасада принимается 10 % от ширины прилегающей стены. В пределах этой области угловая кромка может быть острой, иметь плавное скругление или плоский срез. Если радиус скругления или хорда среза не превышают 1 % от ширины прилегающей стены, кромка считается острой».

Ключевые слова. Заменить слова: «нормативная ветровая нагрузка,» на «нормативная ветровая нагрузка, пиковая ветровая нагрузка,».

(ИУС № 3 2021 г.)

ОКС 91.080.01

Изменение № 1 ГОСТ Р 56728—2015 Здания и сооружения. Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции

Утверждено и введено в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.12.2020 № 1355-ст

Дата введения — 2021—06—01

Раздел 1. Первый абзац и пункт 1.3. Заменить ссылку: «СП 20.13330.2011» на СП.20.13330».

Пункт 1.4. Исключить примечание.

Дополнить пунктом 1.5:

«1.5 Указан способ определения пиковых значений аэродинамического коэффициента».

Раздел 2 изложить в новой редакции:

«В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 4401 Атмосфера стандартная. Параметры

ГОСТ 27751 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету

СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных документов (сводов правил) в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов».

Раздел 3. Заменить ссылки:

Пункт 3.1.2. «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Пункт 3.1.3. «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Пункт 3.1.4. «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Подраздел 3.2. Таблица 1. Графа «Примечание» для термина «Аэродинамический коэффициент». Заменить слова: «Принимают по приложению «Д» в СП 20.13330.2011» на «Принимают по приложению «В» в СП 20.13330.2016».

Раздел 4. Заменить ссылки:

Пункт 4.1.3. «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Пункт 4.1.5. «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Подраздел 4.3. Первый абзац. Заменить ссылку: «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Примечание к таблицам 2—4. Заменить ссылку: «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Раздел 5. Подраздел 5.1. Заменить ссылку: «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Пункт 5.2.1. Второй абзац. Заменить ссылку: «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Пункт 5.2.2. Заменить ссылку: «СП 20.13330.2011» на «СП 20.13330».

Пункт 5.4.9. Исключить примечание.

Раздел 5 дополнить подразделом 5.6:

«5.6 Пиковая ветровая нагрузка

5.6.1 При проектировании ограждающих конструкций фасадов (в том числе элементов навесных фасадных систем и светопрозрачных конструкций) необходимо учитывать значения пиковой положительной $w_{(+)}$ и отрицательной $w_{(-)}$ ветровой нагрузки, определяемой как абсолютный экстремум для всех возможных направлений φ нормативного настилающего ветра.

5.6.2 В соответствии с СП 20.13330 нормативные значения пиковой ветровой нагрузки $w_{(+)(-)}$ определяются по формуле

$$w_{(+)(-)} = w_0 k(z_e)(1 + \zeta(z_e))c_{p,(+)(-)}v_{(+)(-)}, \quad (11)$$

где w_0 — нормативное значение давления ветра (по таблице 2);

z_e — эффективная высота (по таблице 5);

k, ζ — коэффициенты, учитывающие изменение скоростного напора и его пульсаций в нормативном настилающем ветре на высоте z (СП 20.13330.2016, таблицы 11.2 и 11.4);

$c_{p,(+)(-)}$ — пиковые значения аэродинамического коэффициента положительного давления (+) или отсоса (–);

$v_{(+)(-)}$ — коэффициенты корреляции ветровой нагрузки, соответствующие положительному давлению (+) и отсосу (–), зависят от площади ограждения S, с которой собирается ветровая нагрузка (СП 20.13330.2016, таблица 11.8).

5.6.3 Коэффициенты k, ζ вычисляют по формулам:

$$k(z) = (z/z_0)^{2\alpha}, \tag{12}$$

$$\zeta(z) = \zeta_0(z/z_0)^{-\alpha}, \tag{13}$$

z_0 и α — определены в таблице 4;

ζ_0 — принимают по таблице 7.

Таблица 7 — Значения коэффициента ζ_0

Тип местности	A	B	C
ζ_0	0,76	0,85	1,14

5.6.4 При 2 м^2 ≤ S ≤ 20 м^2 значения коэффициентов корреляции $v_{(+)(-)}$ вычисляют по формулам:

$$v_{(+)} = 1{,}07 - 0{,}11\ln(S/\text{м}^2), \tag{14}$$

$$v_{(-)} = 1{,}10 - 0{,}15\ln(S/\text{м}^2), \tag{15}$$

при S < 2 м^2 – $v_{(+)} = v_{(-)} = 1$; при S > 20 м^2 – $v_{(+)} = 0{,}75$, $v_{(-)} = 0{,}65$.

5.6.5 Аэродинамические коэффициенты $c_{p,(+)(-)}$, как правило, должны определяться на основе результатов модельных испытаний сооружений в аэродинамических трубах.

Примечание — Доступные для инженерных расчетов современные CFD-технологии (5.5) не обеспечивают возможность адекватного расчета пульсационной составляющей ветрового давления на фасадах сооружений, поэтому применение аэрофизического моделирования остается необходимым элементом исследований при определении пиковых значений ветровой нагрузки на ограждающие конструкции.

5.6.6 В ходе модельных испытаний макетов зданий и сооружений в аэродинамической трубе (5.4) должны регистрироваться большие выборки (порядка 10 тыс. отсчетов) нестационарных показаний датчиков ветрового давления Δp_j в контрольных точках макета с достаточно подробным шагом по азимуту φ (не более 10°) в диапазоне 0°—360°. По ним определяют среднюю составляющую и среднеквадратическое отклонение. Нормировка этих величин на характерный скоростной напор $[q(z_0)]_т$ (5.4.8) определяет базовый аэродинамический коэффициент C_m (5.3) и его среднеквадратическое отклонение $\sigma(z, j, \varphi)$. Нормативные пиковые значения аэродинамического коэффициента $c_{p,(+)(-)}$ определяют по формуле

$$c_{p,(+)(-)} = \frac{C_{peak,(+)(-)}(z_e(z), j)}{k(z_e(z))}, \tag{16}$$

где

$$C_{peak,(+)}(z, j) = \max_{0°<\varphi<360°} [C_m(z, j, \varphi) + 3\sigma(z, j, \varphi)], \tag{17}$$

$$C_{peak,(-)}(z, j) = \max_{0°<\varphi<360°} [C_m(z, j, \varphi) - 3\sigma(z, j, \varphi)]. \tag{18}$$

Формула (16) позволяет находить аэродинамические коэффициенты $c_{p,(+)}$, $c_{p,(-)}$ с помощью величин формул (17), (18), определяемых непосредственно по данным измерений в аэродинамической трубе согласно 5.4.6.

5.6.7 В случае отдельно стоящих призматических зданий с плоскими стенами и различными типами формы угловых кромок допускается принимать $c_{p,(+)} = 1{,}2$ на всех фасадах. При этом аэродинами-

ческий коэффициент пикового отрицательного давления $c_{p,(-)}$ может изменяться в широком диапазоне. На плоских участках стен вне области угловых кромок фасадов ориентировочное значение $c_{p,(-)} = -1,2$. В области острых угловых кромок $c_{p,(-)}$ зависит от соотношения размеров прилегающих стен, экстремальное значение $c_{p,(-)} = -2,2$. В случае плавно скругленных угловых кромок возможны экстремальные значения вплоть до $c_{p,(-)} = -4,0$.

Примечание — Ширина области угловой кромки вертикального фасада принимается 10 % от ширины прилегающей стены. В пределах этой области угловая кромка может быть острой, иметь плавное скругление или плоский срез. Если радиус скругления или хорда среза не превышают 1 % от ширины прилегающей стены, кромка считается острой».

Ключевые слова. Заменить слова: «нормативная ветровая нагрузка,» на «нормативная ветровая нагрузка, пиковая ветровая нагрузка,».

(ИУС № 3 2021 г.)

gost.e-ecolog.ru