

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ
ЕРЕЖЕЛЕР ЖИНАҒЫ**

**СВОД ПРАВИЛ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

ҚР ЕЖ EN

1991-1-4:2005/2011

*2009 ж. шілде және 2010ж. қаңтар
айының өзгертулерімен.*

СП РК EN

1991-1-4:2005/2011

*Включая исправления на июль 2009 г.
и на январь 2010 г.*

**КҮШ ТҮСЕТІН
КОНСТРУКЦИЯЛАРҒА ӘСЕРЛЕР
1-4 бөлім. Жалпы әсерлер. Жел әсерлері**

**ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ
Часть 1-4. Общие воздействия.
Ветровые воздействия**

**Ресми басылым
Издание официальное**

**Осы ережелер жинағы EN 1990:2002+A1:2005
сәйкес келеді және CEN рұқсатымен қолданылады,
мекен-жайы: В-1000 Брюссель, Маркинс даңғылы, 17**

**Настоящий свод правил идентичен EN 1990:2002+A1:2005
и применяется с разрешения CEN,
по адресу: В-1000 Брюссель, проспект Маркинс, 17**

**Қазақстан Республикасы Өнеркәсіп және құрылыс министрлігінің
Құрылыс және тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері
комитеті**

**Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального
хозяйства Министерства промышленности и строительства Республики
Казахстан**

Астана 2025

АЛҒЫ СӨЗ

- 1 ӘЗІРЛЕГЕН:** «ҚазҚСҒЗИ» АҚ
- 2 ҰСЫНҒАН:** Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігі Құрылыс және тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері комитетінің Техникалық реттеу және нормалау басқармасы
- 3 ҚАБЫЛДАНҒАН ЖӘНЕ ҚОЛДАНЫСҚА ЕНГІЗІЛГЕН МЕРЗІМІ:** Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігі Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитетінің 2014 жылғы 29 желтоқсандағы №156-НҚ бұйрығымен 2015 жылғы 1-шілдеден бастап
- 4 ОРНЫНА:** Алғаш рет

Осы мемлекеттік нормативті Қазақстан Республикасы сәулет, қала құрылысы және құрылыс істері жөніндегі уәкілетті мемлекеттік органының рұқсатынсыз ресми басылым ретінде толық немесе ішінара қайта басуға, көбейтуге және таратуға болмайды.

Қазақстан Республикасы Өнеркәсіп және құрылыс министрлігі Құрылыс және тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері комитетінің 12.08.2025 жылғы №117-НҚ бұйрығына сәйкес өзгертулер енгізілді.

ПРЕДИСЛОВИЕ

- 1 РАЗРАБОТАН:** АО «КазНИИСА»
- 2 ПРЕДСТАВЛЕН:** Управлением технического регулирования и нормирования Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства национальной экономики Республики Казахстан
- 3 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ:** Приказом Комитета по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан от 29 декабря 2014 года №156-НҚ с 1 июля 2015 года
- 4 ВЗАМЕН:** Введен впервые

Настоящий государственный норматив не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Уполномоченного государственного органа по делам архитектуры, градостроительства и строительства Республики Казахстан.

Внесены изменения в соответствии с приказом Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан от 12.08.2025 года №117-НҚ.

НАЦИОНАЛЬНОЕ ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий Свод правил Республики Казахстан является идентичным внедрением Европейского норматива EN 1991-1-4:2005 «Еврокод 1. Воздействия на несущие конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые нагрузки».

Настоящий государственный норматив является разделом комплекса Сводов Правил Республики Казахстан (СП РК EN), представляющего собой комплект документов в составе:

- СП РК EN 1990 Еврокод. Основы строительного проектирования.
- СП РК EN 1991 Еврокод 1. Воздействия на несущие конструкции.
- СП РК EN 1992 Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций.
- СП РК EN 1993 Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций.
- СП РК EN 1994 Еврокод 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций.
- СП РК EN 1995 Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций.
- СП РК EN 1996 Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций.
- СП РК EN 1997 Еврокод 7. Геотехническое проектирование.
- СП РК EN 1998 Еврокод 8. Проектирование сейсмостойких конструкций.
- СП РК EN 1999 Еврокод 9. Проектирование алюминиевых конструкций.

С введением в действие настоящего свода правил Республики Казахстан СП РК EN 1995-1-4:2005/2011 в течение переходного периода будут отменены все противоречащие государственные нормативы Республики Казахстан в области проектирования и строительства деревянных конструкций.

Неотъемлемой частью настоящего нормативного документа является его Национальное Приложение. Без Национального Приложения настоящий государственный норматив не должен применяться для проектирования зданий и сооружений. Допускается использовать настоящий документ без Национального Приложения исключительно в целях изучения и образования.

EUROPEAN STANDARD

EN 1998-1

NORME EUROPÉENNE

EUROPÄISCHE NORM

Декабрь 2004 год

ICS 91.120.25

Взамен ENV 1998-1-1:1994, ENV 1998-1-2:1994,

Редакция на русском языке

Еврокод 1. Воздействия на конструкции
Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия

Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-4: General actions. Wind actions

Настоящий Свод правил разработан CEN 16 апреля 2004 г.

Члены Европейского комитета по стандартизации (CEN) обязаны выполнять регламент CEN/CENELEC, в котором содержатся условия, при которых европейскому нормативу придается статус национального норматива без каких-либо изменений. Новейшие списки и библиографические ссылки, касающиеся таких нормативов, можно получить в центральном секретариате или у любого члена CEN по запросу.

Европейский норматив разработан в трех официальных редакциях (на немецком, английском, французском языках). Перевод стандарта, выполненный членом Европейского Комитета по стандартизации под собственную ответственность на язык его страны и сообщенный центральному секретариату, имеет такой же статус, как и официальные редакции.

Членами CEN являются национальные организации по стандартизации Бельгии, Болгарии, Дании, Германии, Эстонии, Финляндии, Франции, Греции, Ирландии, Исландии, Италии, Латвии, Литвы, Люксембурга, Мальты, Нидерландов, Норвегии, Австрии, Польши, Португалии, Румынии, Швеции, Швейцарии, Словакии, Словении, Испании, Чешской Республики, Венгрии, Великобритании и Кипра.



European Committee for Standardization
Comitee Europeende Normalisation

© 2004 CEN Все права на использование, независимо от формы и метода использования, сохранены за национальными членами CEN

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	IX
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ	1
1.1 Область применения.....	1
1.2 Нормативные ссылки.....	2
1.3 Допущения.....	2
1.4 Различия между принципами и правилами применения	2
1.5 Расчет нагрузок на основе опытных данных и измерений	2
1.6 Термины и определения	3
2 Расчетные ситуации	7
3 Моделирование ветровых воздействий.....	8
3.1 Общие положения.....	8
3.2 Представление ветровых воздействий.....	8
3.3 Классификация воздействий ветра	8
3.4 Характеристические значения	8
3.5 Модели	9
4 Скорость ветра и скоростной напор	9
4.1 Основы расчета	9
4.2 Базовое значение скорости ветра	9
4.3 Средняя скорость ветра	11
4.3.1 Зависимость от высоты	11
4.3.2 Шероховатость местности	11
4.3.3 Орография	13
4.3.4 Влияние более высоких близлежащих зданий	13
4.3.5 Близлежащие здания или препятствия	14
4.4 Турбулентность ветра.....	14
4.5 Пиковое значение скоростного напора.....	14
5 Ветровые воздействия.....	15
5.1 Общие положения.....	16
5.2 Ветровое давление на поверхности.....	16
5.3 Ветровые нагрузки.....	17
6 Конструкционный коэффициент $c_s c_d$	19
6.1 Общие положения.....	19
6.2 Определение $c_s c_d$	19
6.3 Подробный метод	20
6.3.1 Конструкционный коэффициент $c_s c_d$	20
6.3.2 Оценка эксплуатационной пригодности	21
6.3.3 Бафтинг в спутной струе	22
7 Аэродинамические коэффициенты давления и усилий.....	22
7.1 Общие положения.....	22

7.1.1	Определение аэродинамических коэффициентов	22
7.1.2	Ассиметричные и уравнивающие (противодействующие) давления и силы.....	23
7.1.3	Влияния оледенения и снега	24
7.2	Аэродинамические коэффициенты давления для зданий.....	24
7.2.1	Общие положения	24
7.2.2	Вертикальные стены прямоугольных в плане зданий	26
7.2.3	Плоские покрытия	29
7.2.4	Однокатные покрытия.....	31
7.2.5	Двухскатные покрытия	33
7.2.6	Вальмовые покрытия	35
7.2.7	Шедовые (многопролетные) покрытия	37
7.2.8	Сводчатые покрытия и купола	39
7.2.9	Внутреннее давление	40
7.2.10	Давление на многослойные стены и покрытия	43
7.3	Отдельно стоящие навесы	44
7.4	Отдельно стоящие стены, парапеты, ограждения и рекламные щиты.....	50
7.4.1	Отдельно стоящие стены и парапеты	50
7.4.2	Коэффициенты заграждения для стен и ограждений	52
7.4.3	Рекламные щиты.....	52
7.5	Коэффициенты трения	53
7.6	Конструктивные элементы конструкций с прямоугольным сечением	54
7.7	Конструктивные элементы с резкими углами (краями) в сечении.....	56
7.8	Конструктивные элементы с поперечным сечением, имеющим форму правильного многоугольника	57
7.9	Круговой цилиндр	59
7.9.1	Коэффициенты внешнего давления.....	59
7.9.2	Коэффициенты усилия.....	61
7.9.3	Коэффициенты усилия для вертикальных цилиндров, расположенных в ряд.....	63
7.10	Сферы.....	63
7.11	Решетчатые конструкции и леса	65
7.12	Флаги.....	68
7.13	Эффективная гибкость λ и коэффициент, учитывающий краевые эффекты ψ_λ	69
8.	Ветровые воздействия на мосты.....	71
8.1	Общие положения.....	71
8.2	Выбор методов расчета системы.....	73
8.3	Коэффициенты усилия	73
8.3.1	Коэффициенты усилия в направлении x (общий метод)	74
8.3.2	Усилия в направлении x – упрощенный метод.....	77
8.3.3	Ветровые усилия на пролетные конструкции моста в направлении z	77
8.3.4	Ветровые нагрузки на пролетные конструкции моста в направлении y	79
8.4	Опоры моста.....	79

8.4.1 Направления ветра и расчетные ситуации	79
8.4.2 Ветровые воздействия на опоры моста	79
Приложение А (информационное) Влияние шероховатости местности и орографии	80
А.1 Графическое представление максимальных шероховатостей различных типов местности.....	80
А.2 Переходы между типами местности 0, I, II, III и IV	80
А.3 Численный расчет орографических коэффициентов.....	81
А.4 Влияние более высокого близлежащего здания	85
А.5 Высота смещения.....	86
Приложение В (информационное) Первый метод расчета для определения конструкционного коэффициента $c_s c_d$	88
В.1 Турбулентность ветра	88
В.2 Конструкционный коэффициент $c_s c_d$	89
В.3 Количество циклов загрузки для динамической реакции.....	90
В.4 Перемещения и ускорения для оценки эксплуатационной пригодности вертикальных конструкций.....	91
Приложение С (информационное) Второй метод расчета для определения конструкционного коэффициента $c_s c_d$	94
С.1 Турбулентность ветра	94
С.2 Конструкционный коэффициент $c_s c_d$	94
С.3 Количество циклов нагружений для динамической реакции	95
С.4 Перемещения и ускорения для оценки эксплуатационной пригодности вертикальных конструкций.....	95
Приложение D (информационное) Значения конструкционного коэффициента $c_s c_d$ для разных типов зданий	97
Приложение E (информационное) Вихревое возбуждение и динамические неустойчивости.....	102
E.1 Вихревое возбуждение.....	102
E.1.1 Общие положения	102
E.1.2 Критерии для вихревого возбуждения	102
E.1.3 Базовые параметры для вихревого возбуждения	103
E.1.4 Нагрузка вследствие вихревого возбуждения	106
E.1.5 Расчет амплитуды поперечных колебаний	106
E.1.6 Мероприятия по предотвращению возникновения вихревых возбуждений.....	116
E.2 Галопирование	117
E.2.1 Общие положения	117
E.2.2 Начальная скорость.....	117
E.2.3 Классическое галопирование цилиндров со связями	118
E.3 Интерференционное галопирование двух или более отдельно стоящих цилиндров	120
E.4 Дивергенция и флаттер	121
E.4.1 Общие положения	121
E.4.2 Критерии для пластинчатых конструкций	121
E.4.3 Скорость дивергенции	121

Приложение F (информационное) Динамические свойства сооружений	123
F.1 Общие положения	123
F.2 Основная собственная частота	123
F.3 Основная форма колебания	127
F.4 Эквивалентная масса	128
F.5 Логарифмический декремент демпфирования	129
Библиография	131
Приложение Д.А (информационное) Сведения о соответствии государственных стандартов ссылочным европейским стандартам	132

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий Европейский норматив EN 1991-1-4 был подготовлен Техническим Комитетом CEN/TC250 «Строительные Еврокоды», секретариат которого входит в BSI.

Настоящий Европейский норматив получит статус Национального Норматива либо путем публикации идентичного текста или путем индоссамента, самое позднее в мае 2005 г., а конфликтующие национальные стандарты будут отменены не позднее марта 2010 г.

Настоящий Европейский норматив заменяет ENV 1991-2-4:1995. CEN/TC250 ответственен за все Строительные Еврокоды.

Согласно внутренним Правилам CEN/CENELEC, национальные организации по стандартизации следующих стран обязаны внедрить Европейские Нормативы: Австрии, Бельгии, Кипра, Болгарии, Дании, Германии, Эстонии, Финляндии, Франции, Греции, Ирландии, Исландии, Италии, Латвии, Литвы, Люксембурга, Мальты, Нидерландов, Норвегии, Польши, Португалии, Румынии, Швеции, Швейцарии, Словакии, Словении, Испании, Чешской Республики, Венгрии, Великобритании.

Введение к Еврокодам

В 1975 г. Комиссия Европейского сообщества приняла решение о применении программы в области строительства, основанное на статье 95 соглашения. Целью программы являлось устранение технических препятствий деловой активности и стандартизация технических условий.

В данной программе действий Комиссия проявила инициативу по определению совокупности гармонизированных технических правил для проектирования строительных работ, которые на начальной ступени выступали бы в качестве альтернативы действующим национальным правилам в странах-членах и впоследствии заменяли бы их.

На протяжении 15 лет Комиссия при помощи Руководящего комитета представителей стран-членов осуществляла разработку программы Еврокодов, что привело к появлению первого поколения Еврокодов в 1980-е годы.

В 1989 г. Комиссия и страны-члены ЕС и ЕАСТ на основании соглашения¹⁾ между Комиссией и CEN приняли решение о передаче подготовки и издания Еврокодов посредством ряда мандатов с целью предоставления им будущего статуса европейского стандарта (EN). Это связывает Еврокоды с положениями Директив Совета и/или постановлениями Комиссии, рассматривающими европейские стандарты (например, Директива Совета 89/106/ЕЕС по строительным изделиям – CPD – и Директивы Совета 93/37/ЕЕС, 92/50/ЕЕС и 89/440/ЕЕС по общественным работам и услугам и аналогичные ЕАСТ Директивы, цель которых состоит в создании внутреннего рынка). Программа Еврокодов конструкций включает следующие стандарты, как правило, состоящие из нескольких частей:

¹⁾Соглашение между Комиссией Европейского сообщества и Европейским комитетом по стандартизации (CEN), относящееся к работе над Еврокодами по проектированию зданий и работ по гражданскому строительству (BC/CEN/03/89).

EN 1990 Еврокод. Основы строительного проектирования
EN 1991 Еврокод 1. Воздействия на конструкции
EN 1992 Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций
EN 1993 Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций
EN 1994 Еврокод 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций
EN 1995 Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций
EN 1996 Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций
EN 1997 Еврокод 7. Геотехническое проектирование
EN 1998 Еврокод 8. Проектирование сейсмостойких конструкций
EN 1999 Еврокод 9. Проектирование алюминиевых конструкций.

Еврокоды устанавливают обязанности распорядительных органов в каждой из стран-членов и гарантируют их право определять значения вопросов регулирования безопасности на национальном уровне, отличающиеся у различных государств.

Статус и область применения Еврокодов

Страны-члены ЕС и ЕАСТ признают, что Еврокоды выступают в качестве ссылочных документов в следующих целях:

- как средство подтверждения соответствия строительных работ и работ по гражданскому строительству основополагающим требованиям директивы Совета 89/106/ЕЕС, в частности основополагающему требованию № 1 – Механическое сопротивление и устойчивость и основополагающему требованию № 2 – Безопасность в случае пожара;

- как основание для изложения договоров на строительные работы и относящиеся к ним инженерно-конструкторские услуги;

- как структура составления гармонизированных технических условий на строительные изделия (EN и ETA).

Еврокоды, поскольку они непосредственно касаются строительных работ, имеют прямое отношение к разъясняющим документам²⁾, на которые приводится ссылка в статье 12 CPD, хотя они отличаются от гармонизированных стандартов на изделие³⁾.

Следовательно, техническим комитетам CEN и/или рабочим группам EOTA, работающим над стандартами на изделие с целью достижения полного соответствия

²⁾В соответствии с Пунктом 3.3 CPD существенным требованиям (ER) необходимо придать определенную форму в разъясняющих документах для создания необходимых связей между существенными требованиями и мандатами для гармонизированных EN и ETAG/ETA.

³⁾В соответствии со Статьей 12 CPD, разъясняющие документы должны:

- а) приводить к определенной форме существенные требования посредством стандартизации терминологии и технических основ и указания классов или уровней для каждого требования, где это необходимо.
- б) устанавливать методы соотношения данных классов или уровней требований с техническими условиями, например, методами расчета и доказательства, техническими правилами для проектной разработки и т. д.;
- с) выступать в качестве ссылки для введения гармонизированных стандартов и руководства для европейского технического утверждения.

данных технических условий Еврокодам, следует соответствующим образом рассмотреть технические аспекты действия Еврокодов.

Еврокоды регламентируют общие правила проектирования конструкций для ежедневного применения при проектировании целостных конструкций и компонентов изделий традиционным и инновационным способом. Нетрадиционные формы строительства или условия проектирования отдельно не рассмотрены, и в данном случае необходимо дополнительное квалифицированное рассмотрение проектировщиком.

Национальные стандарты, обеспечивающие выполнение Еврокодов

Национальные стандарты, обеспечивающие выполнение Еврокодов, содержат полный текст Еврокода (включая приложения), изданного CEN, которому может предшествовать национальный титульный лист и национальное предисловие (справочное).

Национальное приложение может содержать только информацию о параметрах, оставленных открытыми в Еврокоде по национальному усмотрению, известные как «национально определенные параметры», используемые для работ по проектированию зданий и гражданскому строительству в рассматриваемой стране, т. е.:

- значения и/или классы, альтернатива которых приведена в Еврокоде;
- используемые значения, обозначения которых приведены в Еврокоде;
- специфическую информацию о стране (географическую, климатическую и т.д.), например, карта снежного покрова;
- используемые методы, альтернатива которых приведена в Еврокоде, которые также могут содержать:
 - решение по применению справочных приложений;
 - ссылки на непротиворечивую дополнительную информацию для содействия потребителю в применении Еврокода.

Связь Еврокодов и гармонизированных технических требований (ENs и ETAs) на изделия

Существует необходимость согласования гармонизированных технических требований на строительные изделия и технических правил на работы ⁴⁾. Более того, вся информация, сопровождающая маркировку строительных изделий о соответствии европейским стандартам, должна четко устанавливать, какие национально определенные параметры приняты во внимание.

Дополнительная информация, относящаяся к EN 1991-1-4

EN 1991 устанавливает принципы и требования в отношении безопасности, работоспособности и долговечности деревянных конструкций. Они базируются на методе предельного состояния в сочетании с методом частных коэффициентов.

При расчете новых конструкций EN 1991 предназначен для непосредственного использования наряду с EN 1990 и соответствующими частями EN 1991.

⁴⁾См. Статью 3.3 и Статью 12 CPD, а также Пункты 4.2, 4.3.1, 4.3.2 и 5.2 ID 1.

Числовые значения частных коэффициентов безопасности и прочих параметров надежности даны в качестве рекомендуемых значений, которые обеспечивают приемлемый уровень безопасности. Они установлены исходя из соответствующей квалификации рабочего персонала и качественной работы управленческого звена. В случае, когда применяется EN 1991-1-4 в качестве базового документа наряду с CEN/TCs, следует принимать те же самые значения.

Национальное приложение к EN 1991-1-4

Настоящий Европейский норматив предусматривает альтернативные процедуры, значения и рекомендации с примечаниями, указывающими, где должен осуществляться выбор на национальном уровне. Следовательно, Национальный Норматив, внедряющий Еврокод EN 1991-1-4, должен иметь Национальное Приложение, которое должно содержать все определяемые на национальном уровне параметры, необходимые для проектирования зданий и сооружений, возводимых в соответствующей стране.

Национальный выбор допускается в следующих элементах стандарта EN 1991-1-4:

- 1.1(11), Примечание 1; 1.5(2);
- 4.1(1); 4.2(1)Р, Примечание 2; 4.2(2)Р, Примечания 1, 2, 3 и 5; 4.3.1(1), Примечания 1 и 2;
- 4.3.2(1); 4.3.2(2); 4.3.3(1); 4.3.4(1); 4.3.5(1); 4.4(1), Примечание 2; 4.5(1), Примечания 1 и 2;
- 5.3(5);
- 6.1(1); 6.3.1(1), Примечание 3; 6.3.2(1);
- 7.1.2(2); 7.1.3(1); 7.2.1(1), Примечание 2; 7.2.2(1); 7.2.2(2), Примечание 1; 7.2.8(1); 7.2.9(2);
- 7.2.10(3), Примечания 1 и 2; 7.4.1(1); 7.4.3(2); 7.6(1), Примечание 1; 7.7(1), Примечание 1;
- 7.8(1); 7.10(1), Примечание 1; 7.11(1), Примечание 2; 7.13(1); 7.13(2);
- 8.1(1), Примечания 1 и 2; 8.1(4); 8.1(5); 8.2(1), Примечание 1; 8.3(1); 8.3.1(2); 8.3.2(1);
- 8.3.3(1), Примечание 1; 8.3.4(1); 8.4.2(1), Примечания 1 и 2;
- А.2(1);
- Е.1.3.3(1); Е.1.5.1(1), Примечания 1 и 2; Е.1.5.1(3); Е.1.5.2.6(1), Примечание 1;
- Е.1.5.3.2, Примечание 1; Е.1.5.3(4); Е.1.5.3(6); Е.3 (2).

ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОНСТРУКЦИИ
Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия

ACTION ON STRUCTURES
Part 1-4: General actions. Wind actions

Дата введения – 2015-07-01

1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Область применения

(1) EN 1991-1-4 дают указания по определению природных ветровых воздействий на нагружаемые поверхности, рассматриваемые при проектировании зданий и инженерных сооружений. К ним относятся конструкции в целом или их элементы, сопряженные с несущими конструкциями, например узлы, элементы фасада с анкерными креплениями, защитные и шумозащитные ограждения.

(2) Настоящие нормы распространяются на:

- здания и инженерно-технические сооружения высотой до 200 м. См. также (11);
- мосты пролетом до 200 м при условии, что они удовлетворяют критериям динамических характеристик, см. (11) и 8.2.

(3) Настоящая часть служит для определения характеристических ветровых нагрузок на наземные сооружения, их элементы и выступающие части.

(4) Некоторые аспекты, учитываемые при определении ветрового воздействия на сооружение, зависят от местоположения, доступности и качества метеорологических данных, типа местности и т.д. Возможность их выбора для Национального Приложения и Приложения А указана в примечаниях в тексте. В случае отсутствия информации в Национальном Приложении необходимые величины и методы могут быть рекомендованы в основном тексте.

(5) Справочное Приложение А содержит графические представления типов местности и устанавливает правила учета влияния топографии, включая высоту смещения, изменение шероховатости, влияние ландшафта и расположенных в непосредственной близости сооружений.

(6) Справочные Приложения В и С содержат альтернативные методы расчета конструкционного коэффициента $c_s c_d$.

(7) Справочное Приложение D устанавливает коэффициенты $c_s c_d$ для различных типов конструкций.

(8) Справочное Приложение Е содержит правила оценки вихревого возбуждения сооружений, а также указания по учету других видов динамической неустойчивости.

(9) Справочное Приложение F содержит указания по динамическим свойствам сооружений, работающих в упругой стадии.

(10) Настоящие нормы не содержат указаний по учету воздействия местных тепловых эффектов на характеристику ветра, например сильных арктических инверсионных слоев, смерчей или торнадо.

(11) Настоящие нормы не распространяются на:

- воздействия ветра на решетчатые опоры и башни с непараллельными угловыми стойками;
- воздействия ветра на установленные с помощью растяжек опоры и дымовые трубы;
- крутильные колебания, например, высотных зданий с центральным ядром;
- колебания пролетных конструкций моста вследствие турбулентности ветра;
- вантовые и висячие мосты;
- колебания, которые не достаточны для установления основной формы колебаний.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 В Национальном Приложении могут быть установлены другие дополняющие и непротиворечащие указания по данным вопросам.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Воздействия ветра на установленные с помощью растяжек опоры и дымовые трубы, а также решетчатые опоры и башни см. в СП РК EN 1993-3-1, приложение А.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Воздействия ветра на опоры ЛЭП см. в EN 40.

1.2 Нормативные ссылки

Для применения настоящих норм необходимы следующие ссылочные документы. Для недатированных ссылок применяют последнее издание ссылочного документа (включая все его изменения).

EN 1990 Еврокод. Основы строительного проектирования .

EN Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки.

EN Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-6. Общие воздействия. Воздействия при производстве строительных работ.

EN Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 2. Транспортные нагрузки на мосты.

EN Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 3-1. Вышки и опоры.

1.3 Допущения

(1) Р Распространяются общие допущения, установленные в 1.3 EN 1990.

1.4 Различия между принципами и правилами применения

(1) Р Распространяются правила, установленные в 1.4 EN 1990.

1.5 Расчет нагрузок на основе опытных данных и измерений

(1) В дополнение к настоящим нормам для определения нагрузок и реакции системы можно применять аэродинамические испытания, апробированные и/или

сертифицированные численные методы при соответствующем моделировании структуры и естественного ветра.

(2) Нагрузки, реакции системы и параметры местности можно также определять с помощью опытных данных и измерений.

ПРИМЕЧАНИЕ Дополнительную информацию по аэродинамическим испытаниям и измерениям см. в Национальном Приложении.

1.6 Термины и определения

В настоящих нормах применены основные термины и определения, установленные в ISO 2394, ISO 3898 и ISO 8930, в настоящем стандарте применяют также термины и определения по 1.5 EN 1990.

1.6.1 основное значение базовой скорости ветра (fundamental basic wind velocity): Скорость ветра на уровне 10 м над поверхностью земли для открытого типа местности с учетом высоты над уровнем моря (если требуется), соответствующая 10-минутному интервалу осреднения независимо от направления ветра, с вероятностью превышения 0,02.

1.6.2 базовое значение скорости ветра (basic wind velocity): Приведенное основное значение базовой скорости ветра с учетом направления ветра и сезонности (если требуется).

1.6.3 средняя скорость ветра (mean wind velocity): Базовое значение скорости ветра, приведенное с учетом показателей шероховатости местности и орографии.

1.6.4 аэродинамический коэффициент давления (pressure coefficient): Аэродинамические коэффициенты внешнего давления учитывают воздействие ветра на внешние поверхности сооружений, аэродинамические коэффициенты внутреннего давления учитывают воздействие ветра на внутренние поверхности сооружений.

Коэффициенты внешнего давления подразделяются на общие и локальные коэффициенты. К локальным коэффициентам относятся аэродинамические коэффициенты давления для загруженных поверхностей, площадь которых не превышает 1 м^2 , например, для небольших элементов конструкций или креплений; к общим коэффициентам относятся аэродинамические коэффициенты давления для загруженных поверхностей площадью св. 10 м^2 .

Коэффициенты давления нетто (*равномерно-распределенного давления*) включают результирующее воздействие ветра на сооружения, элементы конструкций или узлы на единицу поверхности.

1.6.5 аэродинамический коэффициент усилия (force coefficient): Аэродинамические коэффициенты усилий учитывают общее воздействие ветра на сооружения, элементы конструкций или узлы, с учетом сил трения, если они специально не исключаются.

1.6.6 коэффициент фоновой составляющей реакции (background response factor): Коэффициент фоновой составляющей реакции учитывает отсутствие полной корреляции давления на поверхность конструкции.

1.6.7 коэффициент резонансной составляющей реакции (resonance response factor): Коэффициент резонансной составляющей реакции определяет резонансные колебания с учетом форм колебаний вследствие турбулентности.

1.7 Условные и буквенные обозначения

(1) В настоящих нормах применяют следующие условные и буквенные обозначения.

ПРИМЕЧАНИЕ Применяемые условные и буквенные обозначения установлены в соответствии с ISO 3898:1999. В этой части точка обозначает знак умножения. Этот способ записи применяется для исключения неточностей в функциональных выражениях функций.

(2) Перечень условных и буквенных обозначений, а также терминов и определений приведен в 1.6 EN 1990. Следующие термины распространяются только на настоящую часть норм.

Прописные буквы латинского алфавита

A	— площадь;
A_{fr}	— площадь, обтекаемая ветром (смачиваемая поверхность);
A_{ref}	— базовая площадь;
B^2	— фоновая составляющая реакции;
C	— коэффициент ветровой нагрузки на мосты;
E	— модуль упругости;
F_{fr}	— результирующая сила трения;
F_j	— вихревая возбуждающая сила в точке j сооружения;
F_w	— результирующая ветровая нагрузка;
H	— высота над уровнем моря, м;
I_v	— интенсивность турбулентности;
K	— коэффициент формы колебаний; параметр формы колебаний;
K_{iv}	— коэффициент интерференции для вихревого возбуждения;
K_{rd}	— понижающий коэффициент для парапетов;
K_w	— коэффициент приведенной длины;
K_x	— безразмерный коэффициент;
L	— ширина пролетной конструкции моста, масштаб длины турбулентности;
L_d	— фактическая длина проекции подветренной стороны;
L_e	— эффективная длина проекции наветренной стороны;
L_j	— приведенная длина;
L_u	— фактическая длина проекции наветренной стороны;
N	— количество циклов колебаний, вызванных вихревым возбуждением;
N_g	— количество циклов загрузок от реакций на порывы;
R^2	— резонансная составляющая реакции;
Re	— число Рейнольдса;
R_h, R_b	— аэродинамическая проводимость;
S	— воздействие ветра;
Sc	— число Скрутона;
S_L	— безразмерная функция спектральной плотности;
St	— число Струхала;
W_s	— вес элементов конструкции дымовой трубы, способствующих жесткости;
W_t	— общий вес дымовой трубы.

Строчные буквы латинского алфавита

a_G	– коэффициент неустойчивости при галопировании;
a_{iG}	– комбинированный коэффициент устойчивости при галопировании;
b	– размер конструкции по нормали к направлению действия ветра;
C_{alt}	– коэффициент высоты над уровнем моря;
C_d	– динамический коэффициент;
C_{dir}	– коэффициент, учитывающий направление ветра;
C_f	– аэродинамический коэффициент усилия;
$C_{f,o}$	– аэродинамический коэффициент усилия конструкции или конструктивных элементов без обтекания свободных концов;
$C_{f,l}$	– аэродинамический коэффициент подъемной силы;
C_{fr}	– аэродинамический коэффициент трения;
C_{lat}	– аэродинамический коэффициент вихревого возбуждения;
C_M	– аэродинамический коэффициент момента;
C_p	– аэродинамический коэффициент давления;
C_{prob}	– вероятностный коэффициент;
C_r	– коэффициент, учитывающий тип местности;
C_o	– орографический коэффициент;
C_s	– масштабный коэффициент;
C_{season}	– сезонный коэффициент;
d	– размер конструкции параллельно направлению действия ветра;
e	– эксцентриситет силы или расстояние между краями;
f_L	– безразмерная частота;
h	– высота сооружения;
h_{ave}	– средняя высота нескольких зданий;
h_{dis}	– высота смещения;
k	– эквивалентная шероховатость;
k_p	– пиковый коэффициент;
k_r	– коэффициент местности;
k_θ	– крутильная жесткость;
l	– длина горизонтальной конструкции;
m	– масса на единицу длины;
m_1	– эквивалентная масса на единицу длины;
n_i	– собственная частота сооружения i -ой формы колебаний;
$n_{1,x}$	– основная собственная частота изгибных колебаний параллельно направлению действия ветра;
$n_{1,y}$	– основная собственная частота изгибных колебаний по нормали к направлению действия ветра;
n_0	– частота изгибных колебаний овальной формы;
p	– годовая вероятность превышения;
q_b	– значение среднего (базового) скоростного напора;
q_p	– пиковое значение скоростного напора;
r	– радиус;
s	– коэффициент, координата;

t – интервал осреднения базового значения скорости, толщина оболочки;
 V_{CG} – начальная скорость ветра при галопировании;
 V_{CIG} – критическая скорость ветра при интерференционном галопировании;
 V_{crit} – критическая скорость ветра при вихревом возбуждении;
 V_{div} – скорость ветра при дивергенции;
 V_m – средняя скорость ветра;
 $V_{b,0}$ – основное значение базовой скорости ветра;
 V_b – базовое значение скорости ветра;
 w – ветровое давление;
 x – горизонтальное расстояние между рассматриваемой и наивысшей точкой местности;
 x -направление – горизонтальное направление по нормали к пролету;
 y -направление – горизонтальное направление параллельно пролету;
 y_{max} – максимальная амплитуда колебаний при критической скорости ветра;
 z – высота над землей;
 z_{ave} – средняя высота;
 z -направление – вертикальное направление;
 z_0 – параметр шероховатости;
 z_e, z_i – базовая высота для внешнего и внутреннего ветрового давления;
 z_g – расстояние от уровня земли до элемента конструкции;
 z_{max} – максимальная высота;
 z_{min} – минимальная высота;
 z_s – базовая высота для определения конструкционного коэффициента.

Прописные буквы греческого алфавита

Φ – уклон по нормали к направлению действия ветра;
 $\Phi_{1,x}$ – основная форма собственных колебаний параллельно направлению действия ветра.

Строчные буквы греческого алфавита

α_G – коэффициент неустойчивости галопирования;
 α_{LG} – комбинированный коэффициент стабильности для интерференционного галопирования;
 δ – логарифмический декремент затухания;
 δ_a – аэродинамический логарифмический декремент затухания;
 δ_d – логарифмический декремент затухания вследствие специальных мероприятий;
 δ_s – конструкционный логарифмический декремент затухания;
 ε – коэффициент;
 ε_0 – коэффициент ширины полосы частот (спектра);
 ε_1 – частотный коэффициент;
 η – переменная;
 φ – коэффициент проемности, степень заграждения для открыто стоящих навесов;

- λ — гибкость;
 μ — степень открытости, степень проницаемости наружного ограждения;
 ν — частота восходящего потока, коэффициент Пуассона, кинематическая вязкость;
 θ — угол кручения;
 ρ — плотность воздуха;
 σ_v — стандартное отклонение турбулентности;
 $\sigma_{a,x}$ — стандартное отклонение ускорения колебаний конструкции параллельно направлению действия ветра;
 ψ_{ms} — понижающий коэффициент для отдельно стоящих шедовых кровель;
 ψ_r — понижающий коэффициент для аэродинамического коэффициента усилия конструкций прямоугольного сечения со скругленными углами;
 ψ_λ — понижающий коэффициент для аэродинамического коэффициента усилия элементов конструкций с бесконечной гибкостью;
 $\psi_{\lambda,a}$ — понижающий коэффициент для кругового цилиндра с бесконечной гибкостью;
 ψ_s — коэффициент затенения стен и ограждений;
 ζ — экспонента формы колебаний.

Индексы

- $crit$ — критический;
 e — наружный, нагрузка;
 fr — трение;
 i — внутренний; номер собственной частоты или собственной формы;
 j — номер участка или точки сооружения или элемента конструкции;
 m — средний;
 p — пик, парапет;
 ref — базовый;
 v — скорость ветра;
 x — параллельно направлению действия ветра;
 y — по нормали к направлению действия ветра;
 z — в вертикальном направлении.

2 РАСЧЕТНЫЕ СИТУАЦИИ

(1) Расчетные ветровые воздействия следует определять для каждой расчетной ситуации, установленной в соответствии с требованиями 3.2 EN 1990.

(2) В соответствии с 3.2(3) EN 1990 другие воздействия (такие как снег, транспорт или оледенение), которые могут влиять на воздействия ветра, следует учитывать совместно с ветровыми нагрузками.

ПРИМЕЧАНИЕ См. также EN 1991-1-3, EN 1991-2 и ISO FDIS 12494.

(3) В соответствии с 3.2(3) Р EN 1990 следует учитывать изменения конструкции во время производства строительных работ (например, различные расчетные формы сооружения во время различных этапов строительства, различные динамические характеристики и т. п.), которые могут влиять на воздействия ветра.

ПРИМЕЧАНИЕ См. также EN 1991-1-6.

(4) Случай открытых окон и дверей при шквалистом (штормовом) ветре следует рассматривать как чрезвычайную расчетную ситуацию.

ПРИМЕЧАНИЕ См. также 3.2(2)Р EN 1990.

(5) Для восприимчивых к усталостному разрушению конструкций или их элементов необходимо ветровую нагрузку рассматривать как многократную циклическую.

ПРИМЕЧАНИЕ Количество циклов загрузений см. в приложениях В, С и Е.

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

3.1 Общие положения

(1) Ветровые воздействия переменны во времени. Они действуют в форме давления на внешние поверхности наружного ограждения зданий, а вследствие его проницаемости – также и на внутренние поверхности. Возможны также прямые воздействия ветра на внутренние поверхности открытых зданий. Давление ветра действует по нормали к поверхности. В случае обтекания ветром больших поверхностей, следует учитывать силы трения, действующие параллельно расчетным поверхностям.

3.2 Представление ветровых воздействий

(1) Ветровое воздействие представляют упрощенной схемой распределения давлений или усилий, эффекты которых эквивалентны экстремальным воздействиям ветра с учетом турбулентности.

3.3 Классификация воздействий ветра

(1) Если отсутствуют другие указания, то ветровые воздействия следует классифицировать как переменные стационарные, см. 4.1.1 EN 1990.

3.4 Характеристические значения

(1) Ветровые воздействия, вычисляемые с использованием EN 1991-1-4, являются характеристическими значениями (см. 4.1.2 EN 1990). Они определяются базовым значением скорости ветра или соответствующим скоростным напором. В соответствии с 4.1.2(7)Р EN 1990 базовые значения – это характеристические значения с годовой вероятностью превышения 0,02, что соответствует среднему периоду повторяемости 50 лет.

ПРИМЕЧАНИЕ Все коэффициенты или модели для получения ветровых воздействий из базовых значений следует выбирать таким образом, чтобы вероятность рассчитанного ветрового воздействия не превышала вероятность базовых значений.

3.5 Модели

(1) Реакция сооружения на ветровые воздействия зависит от размера, формы и динамических свойств сооружения.

Настоящие нормы также учитывают увеличение динамической нагрузки на сооружение вследствие резонансных явлений при совпадении направления турбулентной составляющей ветра и плоскости основной формы изгибных колебаний сооружения.

Реакция сооружения рассчитывается по разделу 5 с применением пикового значения скоростного напора q_p на базовой высоте с учетом аэродинамических коэффициентов усилия или давления, а также конструкционного коэффициента $c_s c_d$ (см. раздел 6). Значение q_p зависит от климатического режима ветра, шероховатости местности и орографии, а также от базовой высоты. Значение q_p представляет собой сумму среднего скоростного напора и кратковременной (пульсационной) составляющей давления.

(2) Аэроупругие реакции учитываются, как правило, для гибких конструкций, таких как канаты, мачты, дымовые трубы и мосты.

ПРИМЕЧАНИЕ Упрощенные правила определения аэроупругих реакций приведены в Приложении Е.

4 СКОРОСТЬ ВЕТРА И СКОРОСТНОЙ НАПОР

4.1 Основы расчета

(1) Скорость ветра и соответствующий ей скоростной напор содержат среднюю составляющую и переменную (пульсационную) составляющую.

Среднюю скорость ветра v_m следует определять из базового значения скорости ветра v_b , зависящего от климатического режима ветра (см. 4.2) и от профиля скорости ветра по высоте. Профиль скорости ветра по высоте зависит от шероховатости местности и орографии (см. 4.3). Пиковое значение скоростного напора определяется в 4.5.

Переменная составляющая ветра представлена интенсивностью турбулентности в соответствии с 4.4.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может содержаться информация о национальном климате, посредством которой можно определять среднюю скорость ветра v_m , пиковое значение скоростного напора q_p и дополнительные значения для основных типов местности.

4.2 Базовое значение скорости ветра

(1)Р Основное значение базовой скорости ветра $v_{b,0}$ является характеристическим значением средней скорости ветра на уровне 10 м над поверхностью земли для открытого типа местности с низкой растительностью (например, такой как трава) и изолированными отдельно стоящими преградами, расстояние между которыми составляет как минимум 20-кратное значение их высот, соответствующее 10-минутному интервалу осреднения независимо от времени года и направления ветра.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Данная местность соответствует типу II по Таблице 4.1.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Основные значения базовой скорости ветра $v_{b,0}$ могут быть указаны в Национальном Приложении.

(2)Р Базовое значение скорости ветра равно

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0}, \quad (4.1)$$

где

v_b — базовая скорость ветра, определяемая как функция направления ветра и времени года, на высоте 10 м над уровнем земли для типа местности II;

$v_{b,0}$ — основное значение базовой скорости ветра, см. (1)Р;

C_{dir} — коэффициент, учитывающий направление ветра, см. Примечание 2;

C_{season} — сезонный коэффициент, см. Примечание 3.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 В случае, если влияние высоты над уровнем моря на базовую скорость ветра v_b в указанном базовом значении не учтено, метод учета влияния высоты над уровнем моря может быть указан в Национальном Приложении.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Значение коэффициента, учитывающего направление ветра C_{dir} для различных направлений, может быть указано в Национальном Приложении. Рекомендуемое значение составляет 1,0.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Сезонный коэффициент C_{season} может указываться в Национальном Приложении. Рекомендуемое значение составляет 1,0.

ПРИМЕЧАНИЕ 4 Средняя скорость ветра, соответствующая 10-минутному интервалу осреднения, может определяться для годовой вероятности превышения p умножением базового значения скорости ветра v_b по 4.2(2)Р на вероятностный коэффициент C_{prob} по Формуле (4.2) (см. также EN 1991-1-6).

$$C_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n, \quad (4.2)$$

где K — параметр формы, зависящий от коэффициента вариации распределения экстремальных значений;

n — экспонента.

ПРИМЕЧАНИЕ 5 Значения, применяемые для K и n , могут указываться в Национальном Приложении. Рекомендуемые значения составляют 0,2 для K и 0,5 для n .

(3) Для временных и всех строящихся сооружений допускается применять сезонный коэффициент C_{season} . Для мобильных сооружений, которые могут использоваться в любое время года, для C_{season} принимают значение 1,0.

ПРИМЕЧАНИЕ См. также EN 1991-1-6.

4.3 Средняя скорость ветра

4.3.1 Зависимость от высоты

(1) Средняя скорость ветра $v_m(z)$ на высоте z над уровнем земли зависит от шероховатости местности, орографии и базового значения скорости ветра v_b . Она равна

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b, \quad (4.3)$$

где $c_r(z)$ – коэффициент, учитывающий тип местности в соответствии с 4.3.2;

$c_o(z)$ – орографический коэффициент по 4.3.3.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Данные по c_o могут указываться в Национальном Приложении. Если орография учтена в базовой скорости ветра, то рекомендуемое значение равно 1,0.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Карты или таблицы для определения $v_m(z)$ могут приводиться в Национальном Приложении.

(2) Необходимо учитывать влияние близлежащих сооружений на скорость ветра (см. 4.3.4).

4.3.2 Шероховатость местности

(1) Коэффициент, учитывающий тип местности $c_r(z)$, определяет изменчивость средней скорости ветра $v_m(z)$ в месте расположения сооружения в зависимости от:

- высоты над уровнем земли;
- шероховатости местности с наветренной стороны сооружения для рассматриваемого направления ветра.

ПРИМЕЧАНИЕ Метод определения $c_r(z)$ может указываться в Национальном Приложении. Рекомендуется следующий метод, который базируется на логарифмическом законе изменения профиля скорости по высоте.

$$\begin{aligned} c_r(z) &= k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) && \text{для } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}; \\ c_r(z) &= c_r(z_{\min}) && \text{для } z \leq z_{\min}, \end{aligned} \quad (4.4)$$

где

z_0 – параметр шероховатости;

k_r – коэффициент местности, зависящий от параметра шероховатости z_0 по следующей формуле

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,ji}} \right)^{0,07}, \quad (4.5)$$

здесь

$z_{0,ji} - 0,05$ м (тип местности II, таблица 4.1);

z_{min} – минимальная высота по таблице 4.1;

$z_{max} - 200$ м.

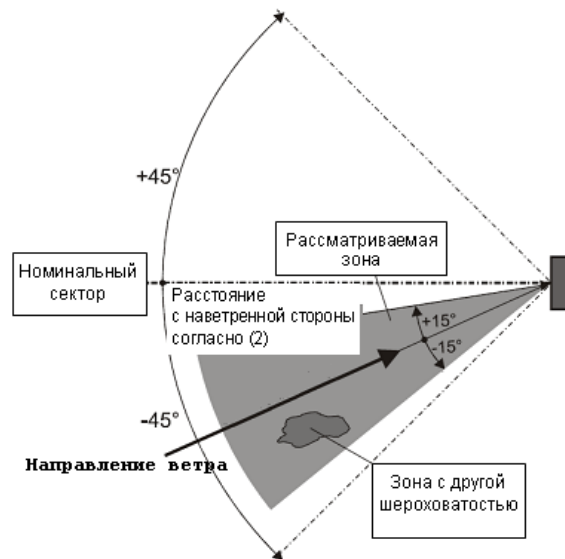
Значения z_0 , z_{min} зависят от типа местности. Рекомендуемые значения указаны в Таблице 4.1 для пяти характерных типов местности.

Формула (4.4) верна, если расстояние с наветренной стороны с постоянной шероховатостью местности имеет величину, достаточную для образования стабильного профиля скорости ветра (см. (2)).

Таблица 4.1 – Типы местности и параметры шероховатости

Тип местности		$z_0, \text{М}$	$z_{min}, \text{М}$
0	Моря или открытые побережья морей	0,003	1
I	Озера или плоская местность с незначительной растительностью без преград	0,01	1
II	Открытая местность с низкой, как трава растительностью и изолированными отдельно стоящими преградами (деревьями, зданиями), расстояние между которыми составляет как минимум 20-кратное значение их высот	0,05	2
III	Местность с равномерной растительностью или зданиями или преградами, расстояние между которыми не превышает 20-кратного значения их высот (деревни, пригородные зоны, протяженные лесные массивы)	0,3	5
IV	Территории, в пределах которых, по крайней мере, 15 % поверхности покрыто зданиями, высота которых превышает 15 м	1,0	10
ПРИМЕЧАНИЕ Типы местности проиллюстрированы в Приложении А.1.			

(2) Шероховатость местности, применяемая для заданного направления ветра, зависит от шероховатости почвы и величины участка наветренной стороны с постоянной шероховатостью местности в определенном угловом диапазоне относительно рассматриваемого направления ветра. Небольшими площадями (менее 10 % рассматриваемой площади) с отличающимися шероховатостями можно пренебречь. См. Рисунок 4.1.



ПРИМЕЧАНИЕ Национальное Приложение может указывать угловой диапазон и величину расстояния с наветренной стороны. Рекомендуется угловой диапазон в форме углового сектора 30° , т. е. $\pm 15^\circ$ относительно рассматриваемого направления ветра. Рекомендуемая величина расстояния с наветренной стороны содержится в Приложении А.2.

Рисунок 4.1 – Оценка шероховатости местности

(3) Если для рассматриваемого углового диапазона определен аэродинамический коэффициент давления или усилия, применяют наименьший параметр шероховатости в пределах каждого ветрового сектора 30° .

(4) Если внутри рассматриваемого углового диапазона существует два и более типов местности, применяют наименьший параметр шероховатости.

4.3.3 Орография

(1) В случаях, где орография (например, горы, утесы и т. п.) повышает скорость ветра более чем на 5 %, это увеличение необходимо учитывать посредством применения орографического коэффициента c_o .

ПРИМЕЧАНИЕ Определение c_o может указываться в Национальном Приложении. Рекомендуемый метод указан в Приложении А.3.

(2) Влияниями орографии можно пренебречь, если средний уклон местности с наветренной стороны менее 3° . Величина учитываемого расстояния с наветренной стороны должна превышать 10-кратное значение высоты выступающего орографического элемента.

4.3.4 Влияние более высоких близлежащих зданий

(1) Если сооружение тесно примыкает к другому сооружению, высота которого не менее чем в 2 раза превышает среднюю высоту близлежащей застройки, то в этом случае

рассматриваемое сооружение (в зависимости от особенностей сооружения) при определенных направлениях ветра может подвергаться воздействию более высоких скоростей ветра. Данные случаи необходимо учитывать.

ПРИМЕЧАНИЕ Национальное Приложение может указывать метод учета близлежащей застройки. Рекомендуемое консервативное первое приближение представлено в Приложении А.4.

4.3.5 Близлежащие здания или препятствия

(1) Необходимо учитывать влияние близлежащих зданий или препятствий.

ПРИМЕЧАНИЕ Национальное Приложение может указывать метод учета близлежащих зданий или препятствий. Рекомендуемый метод указан в Приложении А.5. На местности с высокой шероховатостью близко расположенные, тесно стоящие друг возле друга сооружения изменяют поток ветра вблизи уровня земной поверхности так, как если бы уровень земли был поднят на высоту смещения h_{dis} .

4.4 Турбулентность ветра

(1) Интенсивность турбулентности $l_v(z)$ на высоте z определена как отношение стандартного отклонения турбулентности к средней скорости ветра.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Турбулентная составляющая скорости ветра имеет среднее значение, равное нулю, и стандартное отклонение σ_v . Стандартное отклонение турбулентности σ_v равно

$$\sigma_v = k_r v_b k_i, (4.6)$$

где

k_r – коэффициент местности по формуле (4.5);

v_b – базовое значение скорости ветра по формуле (4.1);

k_i – коэффициент турбулентности, см. Примечание 2.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для определения $l_v(z)$ рекомендуется следующее выражение

$$l_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_i}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} \text{ для } z_{\min} \leq z \leq z_{\max};$$

$$l_v(z) = l_v(z_{\min}) \text{ для } z \leq z_{\min},$$
(4.7)

где

k_i – коэффициент турбулентности. Значение k_i может указываться в Национальном Приложении. Рекомендуемое значение $k_i = 1,0$;

c_o – орографический коэффициент по 4.3.3;

z_0 – параметр шероховатости по Таблице 4.1.

4.5 Пиковое значение скоростного напора

(1) Пиковое значение скоростного напора $q_p(z)$ на высоте z следует определять с учетом средних и кратковременных колебаний скорости.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Национальное Приложение может указывать правила определения $q_p(z)$. Рекомендуемым правилом является:

$$q_p(z) = [1 + 7 I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b, \quad (4.8)$$

где ρ – плотность воздуха, которая зависит от высоты над уровнем моря, температуры и барометрического давления. Значение должно определяться в соответствии с регионами возникновения урагана.

$c_e(z)$ – коэффициент экспозиции, определяемый по формуле (4.9)

$$c_e(z) = \frac{q_{p(z)}}{q_b}, \quad (4.9)$$

здесь q_b – значение среднего (базового) скоростного напора, определяемое по формуле (4.10)

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2. \quad (4.10)$$

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Применяемые на национальном уровне значения ρ могут указываться в Национальном Приложении. Рекомендуемое значение равно $1,25 \text{ кг/м}^3$.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Значение 7 в формуле (4.8) соответствует пиковому коэффициенту $k_p = 3,5$ и применяется с аэродинамическими коэффициентами давления и усилия в разделе 7. Для ровной местности при $c_0(z) = 1,0$ (см. 4.3.3) коэффициент экспозиции $c_e(z)$ представлен на рисунке 4.2 в виде функции высоты (над местностью) и типа местности (как определено в Таблице 4.1).

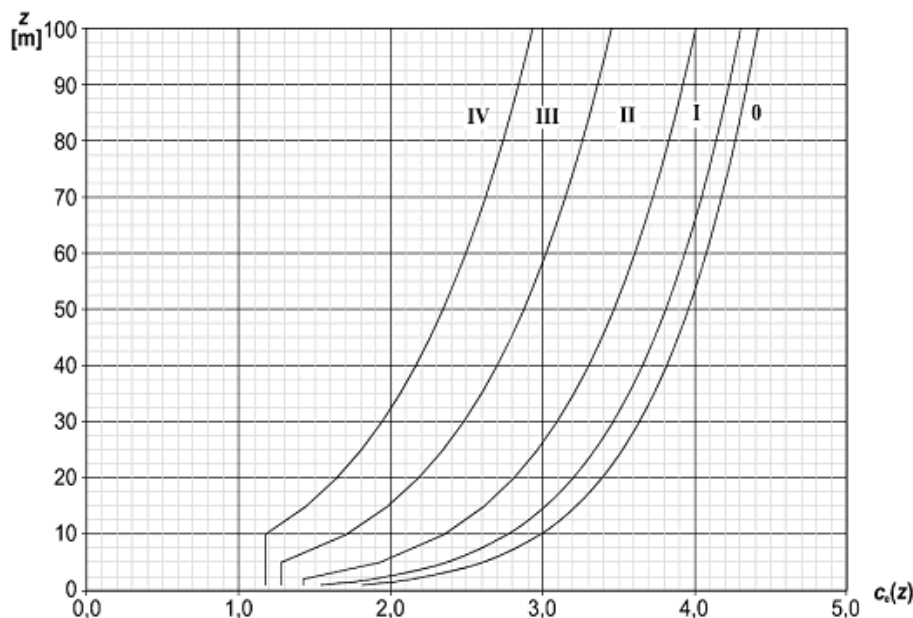


Рисунок 4.2 – Графическое представление коэффициента экспозиции $c_e(z)$ для $c_0 = 1,0$, $k_t = 1,0$

5 Ветровые воздействия

5.1 Общие положения

(1)Р Общие ветровые воздействия на конструкции и конструктивные элементы следует определять с учетом внешнего и внутреннего ветрового давления.

ПРИМЕЧАНИЕ Сводка расчетных процедур для определения ветровых воздействий представлена в Таблице 5.1

Таблица 5.1 – Параметры для определения ветрового воздействия

Параметр	Ссылка
Пиковое значение скоростного напора q_p	
Базовое значение скорости ветра v_b	4.2(2)Р
Базовая высота z_e	Раздел 7
Тип местности	Таблица 4.1
Характеристическое пиковое значение скоростного напора q_p	4.5(1)
Интенсивность турбулентности I_v	4.4
Средняя скорость ветра v_m	4.3.1
Орографический коэффициент $c_o(z)$	4.3.3
Коэффициент, учитывающий тип местности $c_r(z)$	4.3.2
Аэродинамический коэффициент внешнего давления c_{pe}	Раздел 7
Аэродинамический коэффициент внутреннего давления c_{pi}	Раздел 7
Внешнее ветровое давление: $w_e = q_p c_{pe}$	5.2(1)
Внутреннее ветровое давление: $w_i = q_p c_{pi}$	5.2(2)
Ветровая нагрузка на здания, например для случая предельного ветрового эффекта	
Конструкционный коэффициент: $c_s c_d$	Раздел 6
Ветровая нагрузка F_w , рассчитанная по аэродинамическим коэффициентам усилия	5.3(2)
Ветровая нагрузка F_w , рассчитанная по аэродинамическим коэффициентам давления	5.3(3)

5.2 Ветровое давление на поверхности

(1) Ветровое давление w_e , действующее на внешние поверхности конструкций здания, следует определять по Формуле (5.1)

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}, \quad (5.1)$$

где

$q_p(z_e)$ – пиковое значение скоростного напора ветра;

z_e – базовая высота для внешнего давления по Разделу 7;

c_{pe} – аэродинамический коэффициент внешнего давления по Разделу 7.

ПРИМЕЧАНИЕ Значение $q_p(z)$ определено в 4.5.

(2) Ветровое давление w_i , действующее на внутренние поверхности конструкций здания, следует определять по формуле (5.2)

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}, \quad (5.2)$$

где

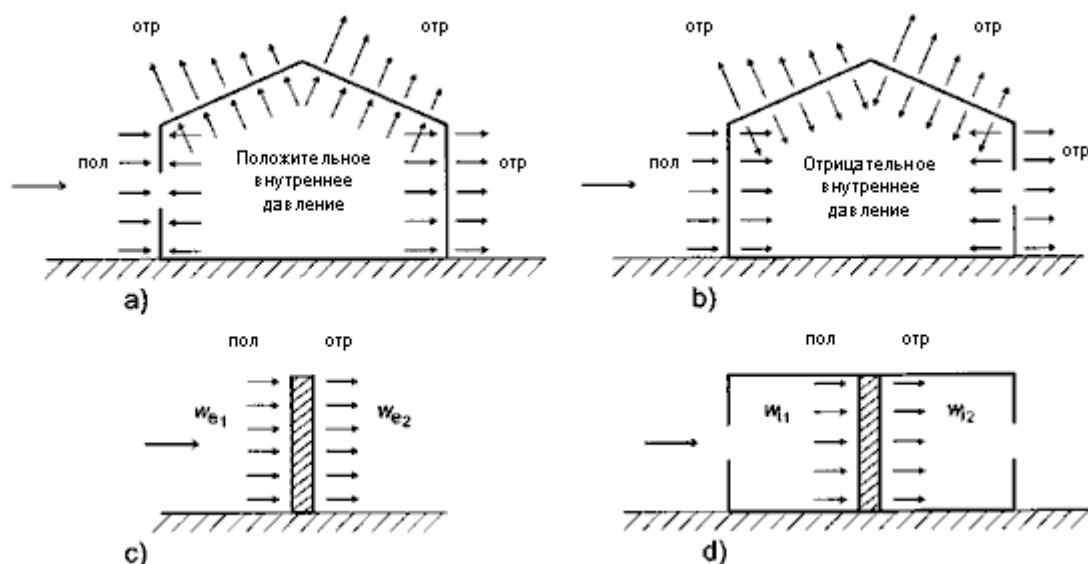
$q_p(z_i)$ – пиковое значение скоростного напора ветра;

z_i – базовая высота для внутреннего давления по Разделу 7;

c_{pi} – аэродинамический коэффициент внутреннего давления по Разделу 7.

ПРИМЕЧАНИЕ Значение $q_p(z)$ определено в 4.5.

(3) Удельное ветровое давление на стену, кровлю или элементы определяется с учетом знаков. Давление, направленное на поверхность считается положительным, от поверхности – отрицательным. Примеры показаны на Рисунке 5.1.



ПРИМЕЧАНИЕ Давление на поверхность считается положительным.

Рисунок 5.1 – Давление на поверхности

5.3 Ветровые нагрузки

(1) Ветровые нагрузки на конструкции и конструктивных элементов следует определять:

- по расчетным усилиям с использованием коэффициентов усилий (см. (2)) или
- по расчетным усилиям через поверхностные давления (см. (3)).

(2) Ветровая нагрузка F_w , действующая на конструкцию или конструктивный элемент, может быть определена непосредственно по формуле (5.3)

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{\text{ref}} \quad (5.3)$$

или векторной суммой ветровых нагрузок, действующих на отдельные конструктивные элементы, с использованием формулы (5.4)

$$F_{w,i} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{элементы}} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{\text{ref}}, \quad (5.4)$$

где:

$c_s c_d$ – конструкционный коэффициент по Разделу 6;

c_f – аэродинамический коэффициент усилия для конструкции или конструктивного элемента (по Разделу 7 или 8);

$q_p(z_e)$ – пиковое значение скоростного напора ветра (по 4.5) на базовой высоте z_e (по Разделу 7 или 8);

A_{ref} – базовая площадь конструкции или конструктивного элемента (по Разделу 7 или 8).

ПРИМЕЧАНИЕ В Разделе 7 значения коэффициента c_f указаны для таких конструкций или конструктивных элементов, как решетчатые, призматические, цилиндрические конструкции, кровли (покрытия), рекламные щиты и флаги. В Разделе 8 значения c_f указаны для мостов. Значения c_f включают в себя влияние трения.

(3) Ветровая нагрузка F_w , действующая на конструкцию или конструктивный элемент, может быть определена векторным сложением сил $F_{w,e}$, $F_{w,I}$ и F_{fr} . Силы $F_{w,e}$ и $F_{w,I}$ рассчитывают из наружных и внутренних давлений, используя формулы (5.5) и (5.6). Силы трения, действующие параллельно наружной поверхности конструкций, определяют по Формуле (5.7).

Нагрузка $F_{w,e}$, действующая на внешнюю (наружную) поверхность здания, равна

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{поверхность}} w_e A_{\text{ref}}. \quad (5.5)$$

Нагрузка $F_{w,i}$, действующая на внутреннюю поверхность здания, равна

$$F_{w,i} = \sum_{\text{поверхность}} w_i \cdot A_{\text{ref}}. \quad (5.6)$$

Сила трения F_{fr} определяется по формуле

$$F_{fr} = c_{fr,i} \cdot q_p(z_e)_i \cdot A_{\text{ref}}, \quad (5.7)$$

где

$c_s c_d$ – конструкционный коэффициент по Разделу 6;

w_e – внешнее (наружное) ветровое давление на отдельную поверхность на высоте z_e , определяемое по (5.1);

w_i – внутреннее ветровое давление на отдельную поверхность на высоте z_i , определяемое по (5.2);

A_{ref} – базовая площадь отдельной поверхности конструкции или конструктивного элемента;

c_{fr} – коэффициент трения, получаемый согласно 7.5;

A_{fr} – площадь наружной поверхности, параллельной направлению действия ветра, вычисляемая согласно 7.5.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Для элементов (например, стен, покрытий) ветровая нагрузка принимается равной разности между наружными и внутренними результирующими нагрузками.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Силы трения F_{fr} действуют в направлении ветровой составляющей, параллельной наружной поверхности.

(4) Эффектами трения на поверхности конструкции или конструктивного элемента можно пренебречь, если общая площадь всех параллельных направлению действия ветра поверхностей (и площади с незначительным угловым отклонением от параллельности) равна или менее четырехкратной величины всех площадей, перпендикулярных направлению ветра (наветренная и подветренная сторона).

(5) При сложении ветровых нагрузок, действующих на сооружение, допускается учитывать отсутствие корреляции между давлением ветра с наветренной и подветренной сторон.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть допущено, что отсутствие корреляции может быть применено в общем или ограничено для стен, как это применяется в 7.2.2(3). Рекомендуется рассматривать отсутствие корреляции только для стен (см. 7.2.2(3)).

6 КОНСТРУКЦИОННЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ $c_s c_d$

6.1 Общие положения

(1) Конструкционный коэффициент $c_s c_d$ учитывает возможность одновременного возникновения пиковых значений скоростного напора ветра по всей поверхности (составляющая c_s), а также влияние резонансных колебаний сооружения вследствие турбулентности ветра (составляющая c_d).

ПРИМЕЧАНИЕ В соответствии с требованиями 6.3 конструкционный коэффициент можно подразделить на масштабный (размерный) коэффициент c_s и динамический коэффициент c_d . Информация о том, допустимо ли разделение конструкционного коэффициента, может быть дана в Национальном Приложении.

6.2 Определение $c_s c_d$

(1) Значение коэффициента $c_s c_d$ допускается определять следующим образом:
а) для здания высотой $h < 15$ м допускается принимать $c_s c_d = 1$;

- б) для фасадов и элементов покрытия, имеющих собственную частоту колебаний более 5 Гц, допускается принимать $c_s c_d = 1$;
- с) для каркасных зданий, которые имеют несущие стены и высота которых менее 100 м и не превышает четырехкратного размера здания по нормали к направлению действия ветра, допускается принимать $c_s c_d = 1$;
- д) для дымовых труб с круглым поперечным сечением и высотой $h < 60$ м или $h < 6,5 \cdot d$ (где d – диаметр), допускается принимать $c_s c_d = 1$;
- е) в случаях а), б), с) и д) значения $c_s c_d$ допускается определять в соответствии с 6.3.1;
- ф) для инженерных сооружений (за исключением мостов, рассматриваемых в разделе 8) дымовых труб и сооружений, на которые не распространяется с) и д), коэффициент $c_s c_d$ определяют по 6.3.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Собственные частоты колебаний фасадов и элементов покрытий могут быть рассчитаны по приложению F (остекленные поверхности с пролетом менее 3 м имеют обычно собственную частоту, превышающую 5 Гц).

ПРИМЕЧАНИЕ 2 На рисунках в приложении D представлены ориентировочные значения $c_s c_d$ для различных типов конструкций. На рисунках даны огибающие безопасных значений, рассчитанных с применением моделей с учетом требований 6.3.1.

6.3 Подробный метод

6.3.1 Конструкционный коэффициент $c_s c_d$

(1) Конструкционный коэффициент $c_s c_d$ вычисляется по (6.1). Условием применения является соблюдение условий 6.3.1(2).

$$c_s c_d = \frac{1 + 2k_p l_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7l_v(z_s)}, \quad (6.1)$$

где

z_s – базовая высота для определения конструкционного коэффициента, см. Рисунок 6.1. Для сооружений, к которым рисунок 6.1 не применим, применяют $z_s = h$, где h – высота сооружения;

k_p – пиковый коэффициент как отношение максимального значения пульсационной составляющей реакции сооружения к его стандартному отклонению;

l_v – интенсивность турбулентности по 4.4;

B^2 – фоновая составляющая реакции, учитывающая отсутствие полной корреляции давления на поверхность конструкции;

R^2 – резонансная составляющая реакции, учитывающая резонансные колебания с учетом формы колебаний вследствие турбулентности.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Масштабный (размерный) коэффициент c_s учитывает снижение эффекта от ветрового воздействия в результате одновременного появления пиковых значений скоростного напора ветра на поверхности и может рассчитываться следующим образом:

$$c_s = \frac{1 + 7I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7I_v(z_s)} \quad (6.2)$$

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Динамический коэффициент c_d учитывает влияние резонансных колебаний сооружения вследствие турбулентности ветра и может рассчитываться следующим образом:

$$c_d = \frac{1 + 2k_p I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2}} \quad (6.3)$$

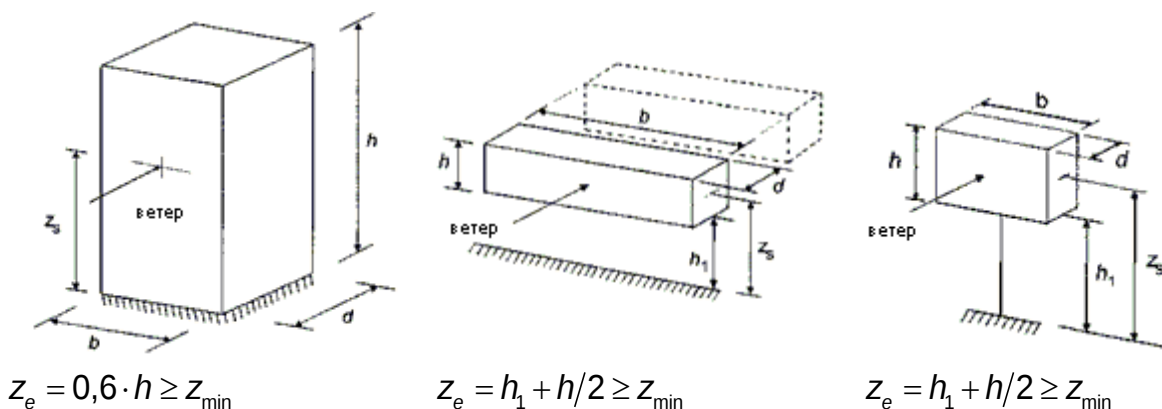
ПРИМЕЧАНИЕ 3 Метод определения k_p , B и R может быть указан в Национальном Приложении. Рекомендующий метод указан в Приложении В. Альтернативный метод приведен в Приложении С. Значения $c_s c_d$, определенные методами Приложений В и С, отличаются не более, чем на 5%.

(2)Р Подробная процедура по выражению (6.1) применяется при выполнении следующих условий:

- конструкция здания соответствует одной из форм, показанных на Рисунке 6.1;
- учитывается только первая изгибная форма в направлении действия ветра с перемещениями постоянного знака.

ПРИМЕЧАНИЕ Второй и последующими формами изгибных колебаний в направлении действия ветра можно пренебречь.

- а) вертикальные сооружения, б) горизонтальные конструкции типа балок и т. п. с) отдельно стоящие такие как здания и т. п. сооружения типа рекламных щитов и т. п.



ПРИМЕЧАНИЕ Ограничения применения см. также в 1.1(2).

Рисунок 6.1 – Общие формы конструкций, на которые распространяется расчетная процедура. Также показаны применяемые конструктивные размеры и базовая высота

6.3.2 Оценка эксплуатационной пригодности

(1) Оценку эксплуатационной пригодности следует производить по максимальному перемещению в направлении ветра и стандартному отклонению характеристического ускорения конструкции, взятых на высоте z .

Для определения максимального перемещения в направлении действия ветра следует использовать эквивалентное статическое ветровое усилие, определяемое по 5.3.

ПРИМЕЧАНИЕ Метод определения перемещения и стандартного отклонения ускорения в направлении действия ветра может указываться в Национальном Приложении. Рекомендуемый метод приведен в Приложении В. Альтернативный метод приведен в Приложении С.

6.3.3 Бафтинг в спутной струе

(1) Для гибких сооружений ($h/d > 4$) и дымовых труб ($h/d > 6,5$) с рядовой или групповой застройкой следует учитывать влияние повышенной турбулентности вследствие инерционной турбулентности близлежащих сооружений (бафтинг в спутной струе).

(2) Влияние бафтинга в спутной струе можно не учитывать, если выполнено одно из следующих условий:

- расстояние между двумя зданиями или дымовыми трубами больше 25-кратного значения размера, определенного в сечении, нормальном к направлению действия ветра, здания или дымовой трубы, расположенных с наветренной стороны;
- собственная частота изгибных колебаний зданий, расположенных с подветренной стороны, превышает 1 Гц.

ПРИМЕЧАНИЕ Для других случаев рекомендуются испытания в аэродинамических трубах или специальные исследования.

7 АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ДАВЛЕНИЯ И УСИЛИЙ

7.1 Общие положения

(1) Данный раздел следует применять для определения соответствующих аэродинамических коэффициентов конструкций. В зависимости от формы сооружения аэродинамические коэффициенты подразделяются на:

- коэффициенты внутреннего и внешнего давления, см. 7.1.1(1);
- коэффициенты давления нетто, см. 7.1.1(2);
- коэффициенты трения, см. 7.1.1(3);
- коэффициенты усилия, см. 7.1.1(4).

7.1.1 Определение аэродинамических коэффициентов

(1) Коэффициенты давления следует устанавливать для:

- конструкций зданий – в виде коэффициентов внутреннего и внешнего давления, используя указания 7.2;

– круговых цилиндров – в виде коэффициентов внутреннего давления, определенных в соответствии с 7.2.9, и коэффициентов внешнего давления в соответствии с 7.9.1.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Коэффициенты внешнего давления учитывают ветровое воздействие на наружные поверхности здания, а коэффициенты внутреннего давления – ветровое воздействие на внутренние поверхности.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Коэффициенты внешнего давления подразделяют на общие и локальные коэффициенты давления. Локальные коэффициенты учитывают воздействие ветра на поверхности, площадь которых не превышает 1 м² и могут применяться для проектирования малых элементов конструкций и их анкерных креплений. Общие коэффициенты давления учитывают воздействие ветра на поверхности площадью 10 м² и более.

(2) Коэффициенты давления нетто следует определять для:

- отдельно стоящих навесов в соответствии с 7.3;
- отдельно (свободно) стоящих стен, парапетов и ограждений в соответствии с 7.4.

ПРИМЕЧАНИЕ Коэффициенты давления нетто дают результирующий эффект от воздействия ветра на конструкцию, конструктивный элемент или компонента на единицу площади.

(3) Коэффициенты трения следует назначать для стен и поверхностей, определенных в 5.3(3) и (4), учитывая требования 7.5.

(4) Коэффициенты трения следует назначать для:

- рекламных щитов в соответствии с 7.4.3;
- элементов конструкций с прямоугольным поперечным сечением в соответствии с 7.6;
- элементов конструкции с резкими углами в поперечном сечении в соответствии с 7.7;
- элементов конструкции с поперечным сечением в виде правильного многоугольника в соответствии с 7.8;
- круговых цилиндров в соответствии с 7.9.2 и 7.9.3;
- куполов в соответствии с 7.10;
- решетчатых конструкций и лесов в соответствии с 7.11;
- флагов в соответствии с 7.12.

Понижающий коэффициент, зависящий от эффективной гибкости конструкции, может быть применен в соответствии с 7.13.

ПРИМЕЧАНИЕ Коэффициенты усилия описывают результирующую силу ветра, действующую на конструкции или конструктивные элементы, включая силу трения, если ее специально не исключают.

7.1.2 Ассиметричные и уравновешивающие (противодействующие) давления и силы

(1) Если кратковременные воздействия ветра вызывают существенные асимметричные нагрузки, а конструктивная форма чувствительна к таким нагрузкам

(например, при кручении симметричных зданий только с одним ядром жесткости), то этот эффект следует учитывать в расчете.

(2) Для отдельно стоящих навесов и рекламных щитов следует применять 7.3 и 7.4.

ПРИМЕЧАНИЕ Национальное Приложение может указывать методы для других конструкций. Рекомендуются следующие методы:

а) для конструкций прямоугольной формы, являющихся чувствительными к эффектам от кручения, следует применять распределение давления в соответствии с рисунком 7.1, для представления крутильных эффектов, вызванных тем, что набегающий поток расположен под углом или отсутствует корреляция между ветровыми усилиями, действующими на различные участки конструкции;

б) для других случаев как допущение для несимметричного нагружения может быть выполнено полное перемещение (удаление) расчетного ветрового воздействия из тех частей конструкций, где эти воздействия создают благоприятный эффект.

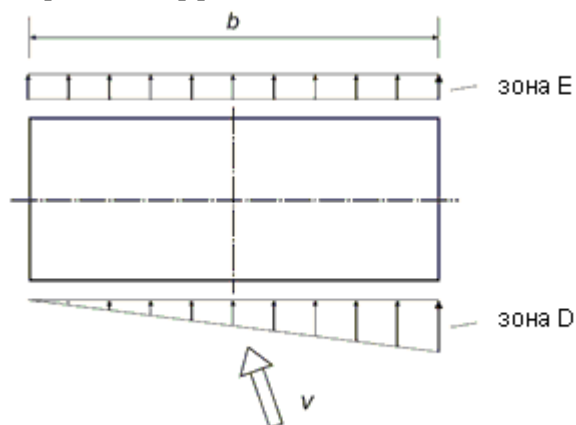


Рисунок 7.1 – Распределение давления для учета влияния кручения. Зоны давления и коэффициенты давления указаны в Таблице 7.1 и на Рисунке 7.5

7.1.3 Влияния оледенения и снега

(1) Если оледенение или снег вызывают изменение габаритных размеров конструктивных элементов, так что изменяется базовая площадь или форма, то это обстоятельство необходимо учитывать при расчетах.

ПРИМЕЧАНИЕ Дополнительная информация может быть включена в Национальное Приложение.

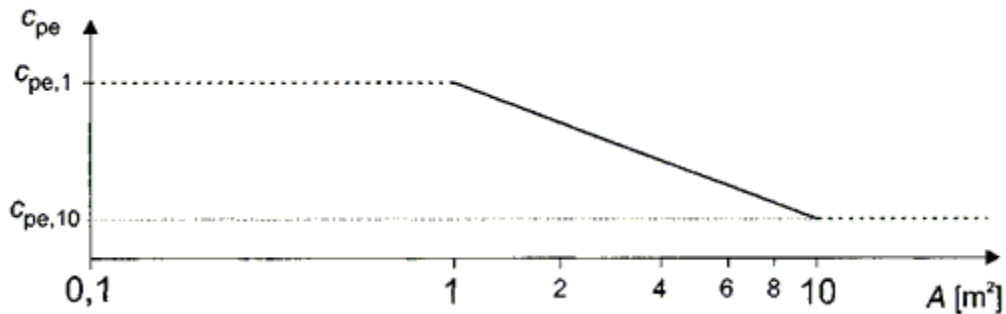
7.2 Аэродинамические коэффициенты давления для зданий

7.2.1 Общие положения

(1) Коэффициенты внешнего давления c_{pe} для зданий и его частей зависят от размера загруженной площади A , воспринимающей ветровое воздействие. Они указываются в таблицах, распространяющихся на соответствующую форму зданий, для площадей 1 м^2 и 10 м^2 как $c_{pe,1}$ и $c_{pe,10}$ соответственно.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Значения $c_{pe,1}$ служат для проектирования малых элементов конструкций и их анкерных креплений с площадью, воспринимающей нагрузку, не превышающей 1 м^2 , например элементы наружного ограждения и кровли. Значения $c_{pe,10}$ используются для расчета всей конструкции.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 В Национальном Приложении может быть дана процедура для расчета коэффициентов внешнего давления для грузовых площадей более 1 м^2 . На Рисунке 7.2 представлен рекомендуемый метод для площадей до 10 м^2 .



На рисунке представлена следующая зависимость для $1 \text{ м}^2 < A < 10 \text{ м}^2$

$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A.$$

Рисунок 7.2 – Коэффициенты внешнего давления для зданий в зависимости от воспринимающей нагрузки площади A

(2) Значения коэффициентов $c_{pe,10}$ и $c_{pe,1}$ в Таблицах 7.1 – 7.5 следует использовать для ортогональных направлений набегающего потока 0° , 90° и 180° , и они отражают самое неблагоприятное значение в пределах диапазона $\theta = \pm 45^\circ$ для указанного ортогонального направления набегающего потока.

(3) Для свесов покрытия (крыши) давления на нижней стороне можно принять соответствующими значению в зоне примыкающей поверхности стены, на верхней стороне – давлению в зоне граничащей поверхности кровли (см. Рисунок 7.3).

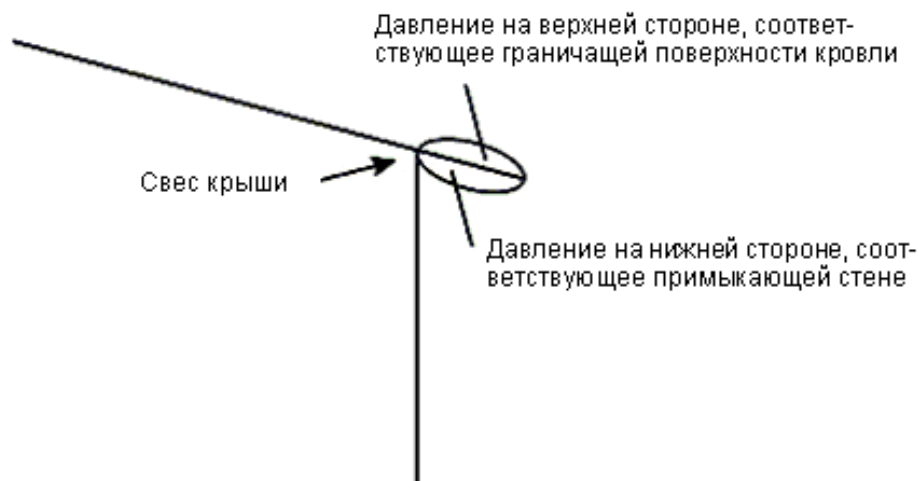
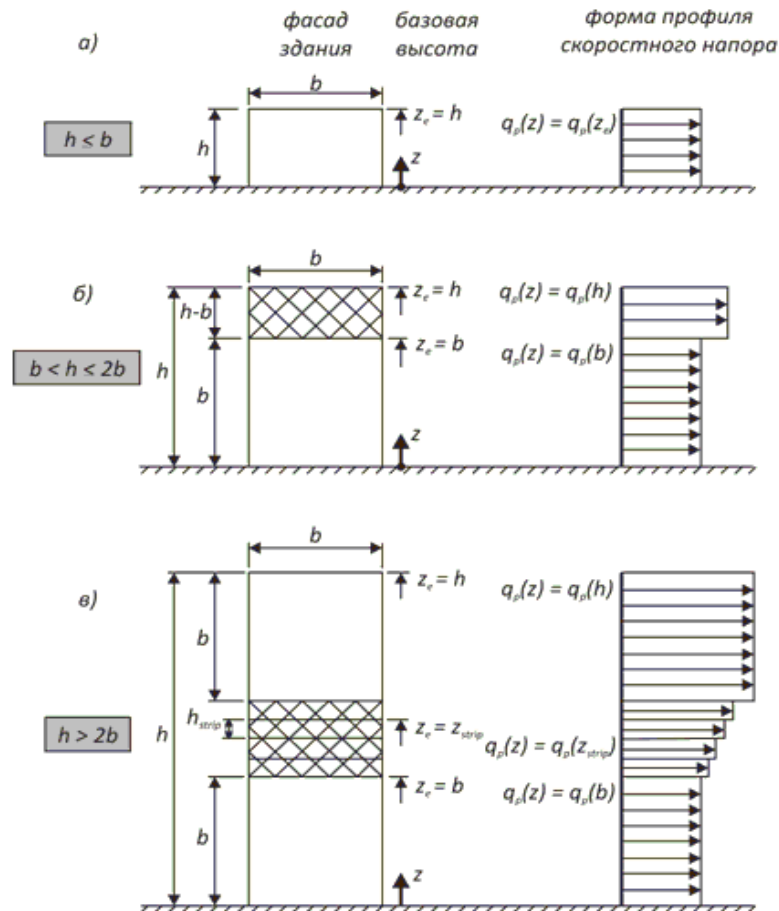


Рисунок 7.3 – Давления при свесе крыши**7.2.2 Вертикальные стены прямоугольных в плане зданий**

(1) Для наветренных стен прямоугольных в плане зданий (зона D на Рисунке 7.5) наружные давления по высоте здания допускается устанавливать дифференцированно согласно Рисунку 7.4. Принимается, что давление в горизонтальных полосах на Рисунке 7.4 по высоте распределено равномерно. В качестве базовой высоты z_e для скоростного напора рассматриваемой полосы следует брать высоту до его верхней отметки. Дифференцирование осуществляется в зависимости от отношения высоты здания к его ширине h/b следующим образом:

- для зданий с $h \leq b$ принимается одна полоса высотой h ;
- для зданий с $b < h \leq 2 \cdot b$ принимается нижняя полоса высотой b , а также верхняя полоса высотой $(h - b)$;
- для зданий с $h > 2 \cdot b$ принимается нижняя полоса высотой b , а также верхняя полоса высотой b , находящаяся между отметками $(h - b)$ и h . Промежуточная зона подразделяется на соответствующее число дополнительных полос высотой h_{strip} , см. Рисунок 7.4.

ПРИМЕЧАНИЕ Правила распределения скоростного напора на подветренные стороны и стены, параллельные направлению действия ветра (зоны А, В, С и Е, см. Рисунок 7.5), могут указываться в Национальном Приложении или могут устанавливаться конкретно для строительного проекта. Рекомендуется принимать в качестве базовой высоту здания.



ПРИМЕЧАНИЕ Скоростной напор следует принимать равномерно распределенным для каждой горизонтальной полосы.

Рисунок 7.4 – Базовая высота z_e в зависимости от h и b и профиля скоростного напора

(2) Коэффициенты внешнего давления $c_{pe,10}$ и $c_{pe,1}$ для зон А – Е определены на Рисунке 7.5.

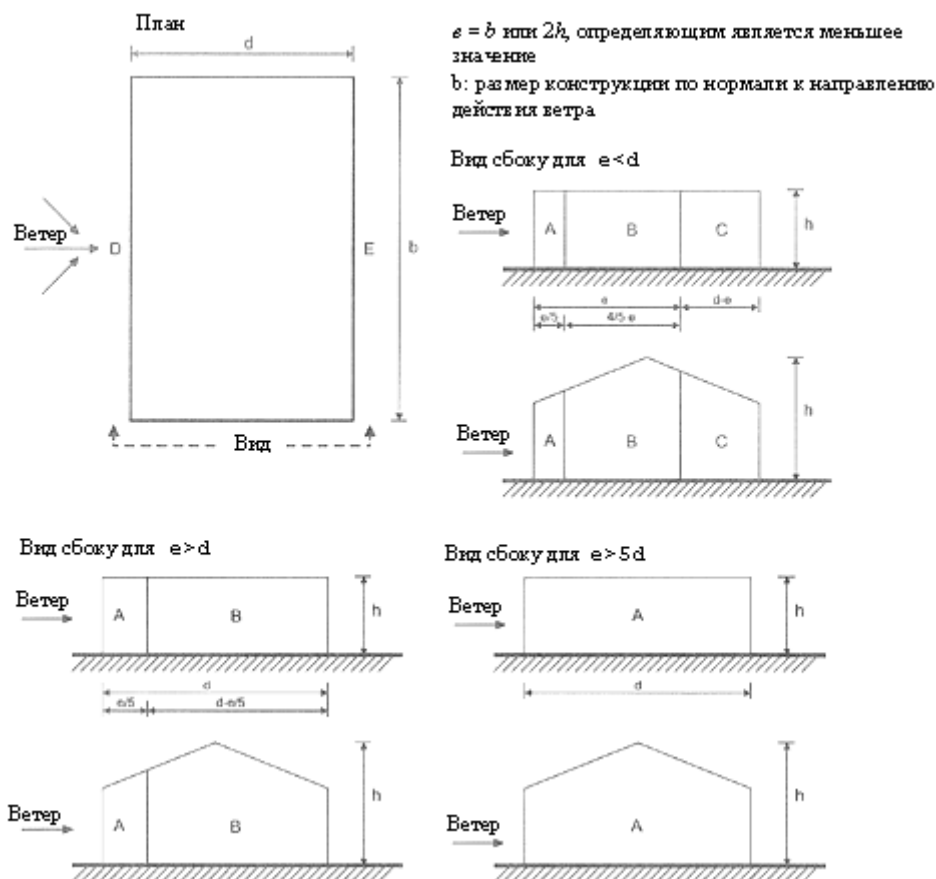


Рисунок 7.5 – К распределению давления для вертикальных стен

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Значения $c_{pe,10}$ и $c_{pe,1}$ могут указываться в Национальном Приложении. Рекомендуемые значения указаны в Таблице 7.1 в зависимости от отношения h/d . Для промежуточных значений допускается линейная интерполяция. Значения, представленные в Таблице 7.1, распространяются также на здания со скатными покрытиями, например, для двускатных или односкатных покрытий.

Таблица 7.1 – Коэффициенты внешнего давления для вертикальных стен прямоугольных в плане зданий

Зона	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,5	

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для зданий с $h/d > 5$ результирующая ветровая нагрузка определяется на основании коэффициентов усилий по 7.6 – 7.8 и 7.9.2.

(3) В случаях, когда ветровое усилие на конструкции зданий определяется через применение коэффициентов давления c_{pe} наветренной и подветренной сторон здания одновременно, отсутствие корреляции между ветровым давлением на наветренные и подветренные стороны (зоны D и E) может учитываться в расчете.

ПРИМЕЧАНИЕ Отсутствие корреляции между ветровыми давлениями на наветренной и подветренной сторонах допускается учитывать следующим образом: для зданий с $h/d \geq 5$ результирующее усилие умножается на 1, для зданий с $h/d \leq 1$ результирующее усилие допускается умножать на коэффициент 0,85. Для промежуточных значений h/d допускается линейная интерполяция.

7.2.3 Плоские покрытия

- (1) Плоские покрытия – это покрытия, имеющие уклон менее $\pm 5^\circ$.
- (2) Покрытия следует разделять на зоны, как показано на Рисунке 7.6.



Рисунок 7.6 – К распределению давления для плоских покрытий

- (3) Базовую высоту z_e для плоских покрытий со свесом крыши со скругленными или острыми углами или мансардным свесом крыши принимают равной h , для плоских покрытий с парапетом в соответствии с рисунком 7.6 принимают $z_e = h + h_p$.
- (4) Коэффициенты давления для каждой зоны указаны в Таблице 7.2.
- (5) Коэффициент давления для парапета следует определять в соответствии с 7.4.

Таблица 7.2 – Коэффициенты внешнего давления для плоских покрытий

Тип покрытия (крыши)		Зона							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Свес крыши с острыми углами		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
Спарпетом	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
Свес крыши со скругленными углами	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2	
								-0,2	
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2	
								-0,2	
	$r/h=0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2	
								-0,2	
Мансардный свес крыши	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2	
								-0,2	
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2	
								-0,2	
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2	
								-0,2	

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Для зон покрытия с парапетом или со свесом крыши со скругленными углами для промежуточных значений h_p/h и r/h допускается линейная интерполяция.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для зон мансардного свеса крыши для промежуточных значений α между $\alpha = 30^\circ$, 45° и 60° допускается линейная интерполяция. Для $\alpha > 60^\circ$ допускается линейная интерполяция между значениями для $\alpha = 60^\circ$ и значениями для плоских покрытий с зоной свеса крыши с острыми углами.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 В зоне I, для которой указываются положительные и отрицательные значения, необходимо учитывать оба значения.

ПРИМЕЧАНИЕ 4 Коэффициенты внешнего давления для мансардного свеса крыши указываются в Таблице 7.4а «Коэффициенты внешнего давления для двухскатных покрытий» с направлением набегающего потока $\theta = 0^\circ$, зона F и G, в зависимости от угла уклона крыши мансардного типа.

ПРИМЕЧАНИЕ 5 Для свеса крыши со скругленными углами коэффициенты внешнего давления определяются линейной интерполяцией по кривой между значениями вертикальной стены и покрытия.

7.2.4 Односкатные покрытия

- (1) Покрытие, включая свесы, подразделяется на зоны по Рисунку 7.7.
- (2) Базовую высоту z_e следует принимать равной $z_e = h$.
- (3) Коэффициенты внешнего давления для каждой зоны, которые следует использовать в расчетах, даны в Таблице 7.3.

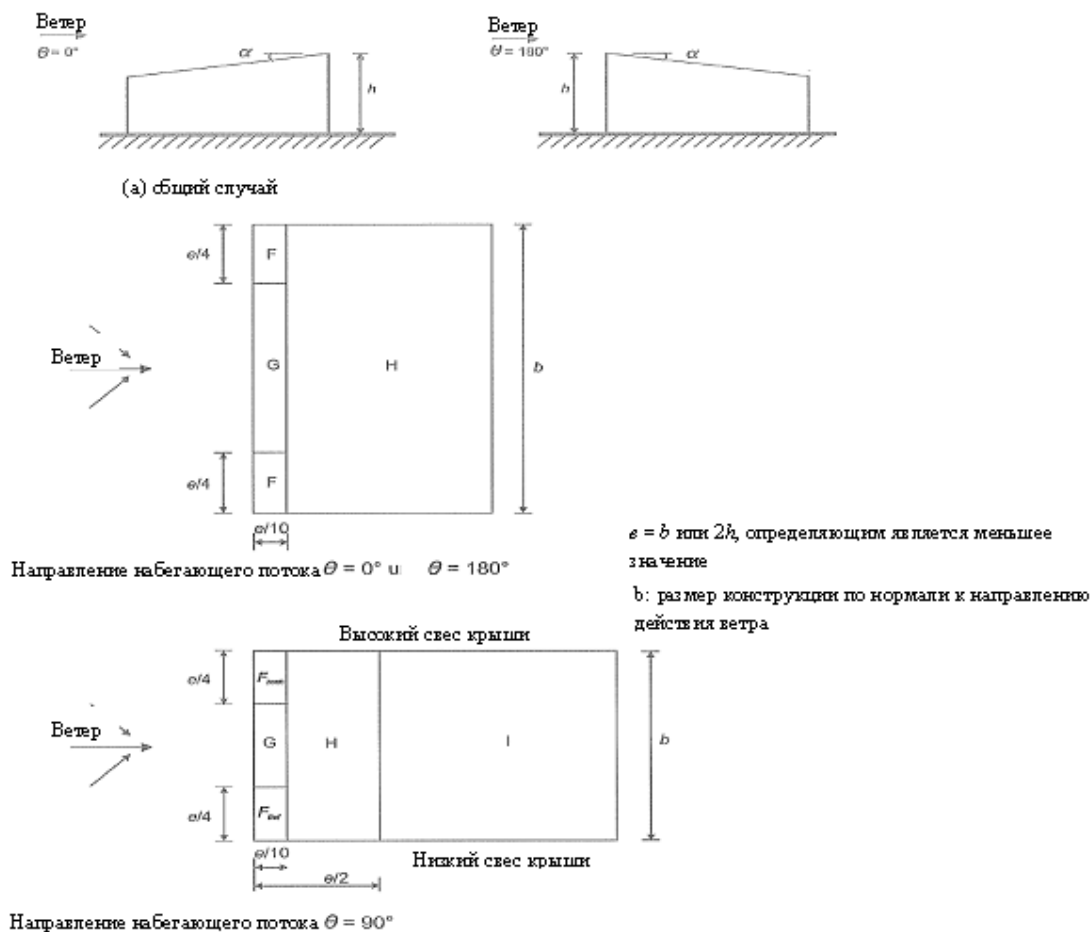


Рисунок 7.7 – К распределению давления для односкатных покрытий

Таблица 7.3а – Коэффициенты внешнего давления для односкатных покрытий

Угол уклона α	Зона для направления набегающего потока $\theta = 0^\circ$						Зона для направления набегающего потока $\theta = 180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							

Таблица 7.3а (продолжение)

Угол уклона α	Зона для направления набегающего потока $\theta = 0^\circ$					Зона для направления набегающего потока $\theta = 180^\circ$					
	F		G		H	F		G		H	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2						
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2	-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4						
45°	-0,0		-0,0		-0,0	-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6						
60°	+0,7		+0,7		+0,7	-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8	-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

Таблица 7.3b – Коэффициенты внешнего давления для односкатных покрытий

Угол уклона α	Зона направления набегающего потока $\theta = 90^\circ$									
	F _{hoch}		F _{tief}		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Для направления набегающего потока $\theta = 0^\circ$ (см. Таблицу 7.3а) и для углов уклона от $\alpha = +5^\circ$ до $\alpha = +45^\circ$ происходит быстрое изменение давления от положительных к отрицательным значениям, поэтому указываются как положительные, так и отрицательные значения. Для таких покрытий оба случая необходимо учитывать отдельно:

- 1) только положительные значения ;
- 2) только отрицательные значения.

Сочетание положительных и отрицательных значений для одной и той же поверхности покрытия не допускается.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для уклона крыши между указанными значениями допускается линейная интерполяция, в случае если знак коэффициента давления не меняется. Значение, равное нулю, указано для интерполяции.

7.2.5 Двухскатные покрытия

- (1) Покрытие, включая свесы, подразделяется на зоны по Рисунку 7.8.
- (2) Базовую высоту z_e следует принимать равной h .
- (3) Коэффициенты внешнего давления для каждой зоны, которые следует использовать в расчетах, даны в Таблицах 7.4а и 7.4б.

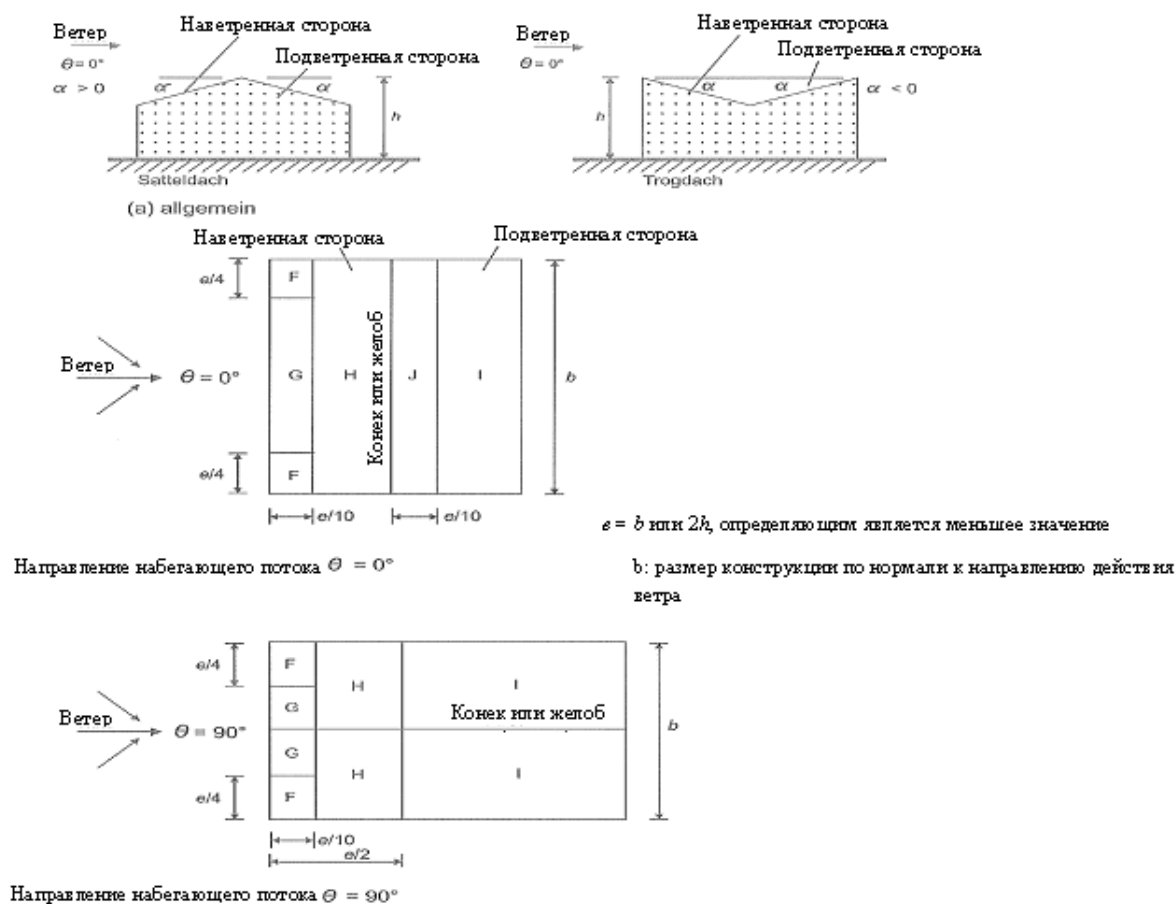


Рисунок 7.8 – К распределению ветрового давления для двухскатных покрытий

Таблица 7.4а – Коэффициенты для внешнего давления для двухскатных покрытий

Угол уклона α	Зона для направления набегающего потока $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4

Таблица 7.4а (продолжение)

–15°	–2,5	–2,8	–1,3	–2,0	–0,9	–1,2	–0,5	–0,7	–1,2
5°	–2,3	–2,5	–1,2	–2,0	–0,8	–1,2	+0,2	+0,2	
							–0,6	–0,6	
5°	–1,7	–2,5	–1,2	–2,0	–0,6	–1,2	–0,6	+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0			–0,6	
15°	–0,9	–2,0	–0,8	–1,5	–0,3		–0,4	–1,0	–1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0	+0,0	+0,0
30°	–0,5	–1,5	–0,5	–1,5	–0,2		–0,4	–0,5	
	+0,7		+0,7		+0,7		+0,0	+0,0	
45°	–0,0		–0,0		–0,0		–0,2	–0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0	+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		–0,2	–0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		–0,2	–0,3	
ПРИМЕЧАНИЕ 1 Для направления набегающего потока $\theta = 0^\circ$ (см. Таблицу 7.3а) и для углов уклона от $\alpha = -5^\circ$ до $\alpha = +45^\circ$ происходит быстрое изменение давления от положительных к отрицательным значениям, поэтому указываются как положительные, так и отрицательные значения. Для таких покрытий необходимо учитывать четыре случая, при которых комбинируются соответственно наименьшие или наибольшие значения для зон F, G и H с наименьшим или наибольшим значениями зон I и J. Сочетание положительных и отрицательных значений на одной и той же поверхности покрытия не допускается. ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для уклонов крыши между указанными значениями допускается линейная интерполяция, в случае если знак коэффициента давления не меняется. (Между значениями $\alpha = +5^\circ$ и $\alpha = -5^\circ$ интерполяция не допускается, вместо этого необходимо использовать значения для плоских покрытий по 7.2.3). Значение «нуль» указано в целях интерполяции.									

Таблица 7.4b – Коэффициенты внешнего давления для двухскатных покрытий

Угол уклона α	Зона для направления набегающего потока $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
–45°	–1,4	–2,0	–1,2	–2,0	–1,0	–1,3	–0,9	–1,2
–30°	–1,5	–2,1	–1,2	–2,0	–1,0	–1,3	–0,9	–1,2
–15°	–1,9	–2,5	–1,2	–2,0	–0,8	–1,2	–0,8	–1,2
–50°	–1,8	–2,5	–1,2	–2,0	–0,7	–1,2	–0,6	–1,2
5°	–1,6	–2,2	–1,3	–2,0	–0,7	–1,2	–0,6	

Таблица 7.4b (продолжение)

15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
Угол уклона α	Зона для направления набегающего потока $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

7.2.6 Вальмовые покрытия

- (1) Покрытие, включая свесы, делится на зоны по Рисунку 7.9.
- (2) Базовую высоту z_e следует принимать равной h .
- (3) Коэффициенты внешнего давления для каждой зоны, которые следует использовать в расчетах, даны в Таблице 7.5.

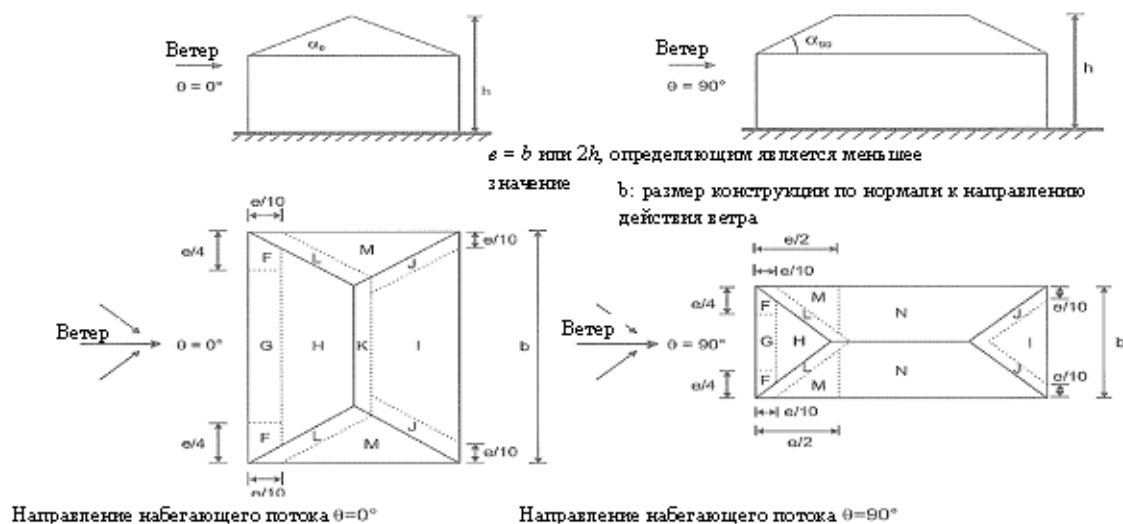


Рисунок 7.9 – К распределению давления для вальмовых покрытий

Таблица 7.5 – Коэффициенты внешнего давления для вальмовых покрытий

Угол уклона α_0 для $\theta =$ 0° , α_{90} для $\theta =$ 90°	Зона направления набегающего потока $\theta = 0^\circ$ и $\theta = 90^\circ$																	
	F		G		H		I		J		K		L		M		N	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,6		-0,6		-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,4	
	+0,0		+0,0		+0,0													
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,5		-1,0	-1,5	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3	
	+0,2		+0,2		+0,2													
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,7		-1,2	-0,5		-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2		
	+0,5		+0,7		+0,4													
45°	-0,0		-0,0		-0,0	-0,3	-0,6		-0,3			-1,3	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2		
	+0,7		+0,7		+0,6													
60°	+0,7		+0,7		+0,7	-0,3	-0,6		-0,3			-1,2	-2,0	-0,4		-0,2		
75°	+0,8		+0,8		+0,8	-0,3	-0,6		-0,3			-1,2	-2,0	-0,4		-0,2		
ПРИМЕЧАНИЕ 1 Для направления набегающего потока $\theta = 0^\circ$ и для угла уклона от $\alpha = +5^\circ$ до $\alpha = +45^\circ$ давление с наветренной стороны происходит быстрое изменение давления от положительных к отрицательным значениям, поэтому указываются как положительные, так и отрицательные значения. Для таких покрытий должны отдельно учитываться два случая: 1) только положительные значения и 2) только отрицательные значения. Сочетание положительных и отрицательных значений на одной и той же поверхности покрытия не допускается. ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для уклонов крыши между указанными значениями допускается линейная интерполяция, в случае если не меняется знак коэффициента давления. Значение «нуль» указано в целях интерполяции. ПРИМЕЧАНИЕ 3 Уклон крыши с наветренной стороны является определяющим для коэффициентов давления.																		

7.2.7 Шедовые (многопролетные) покрытия

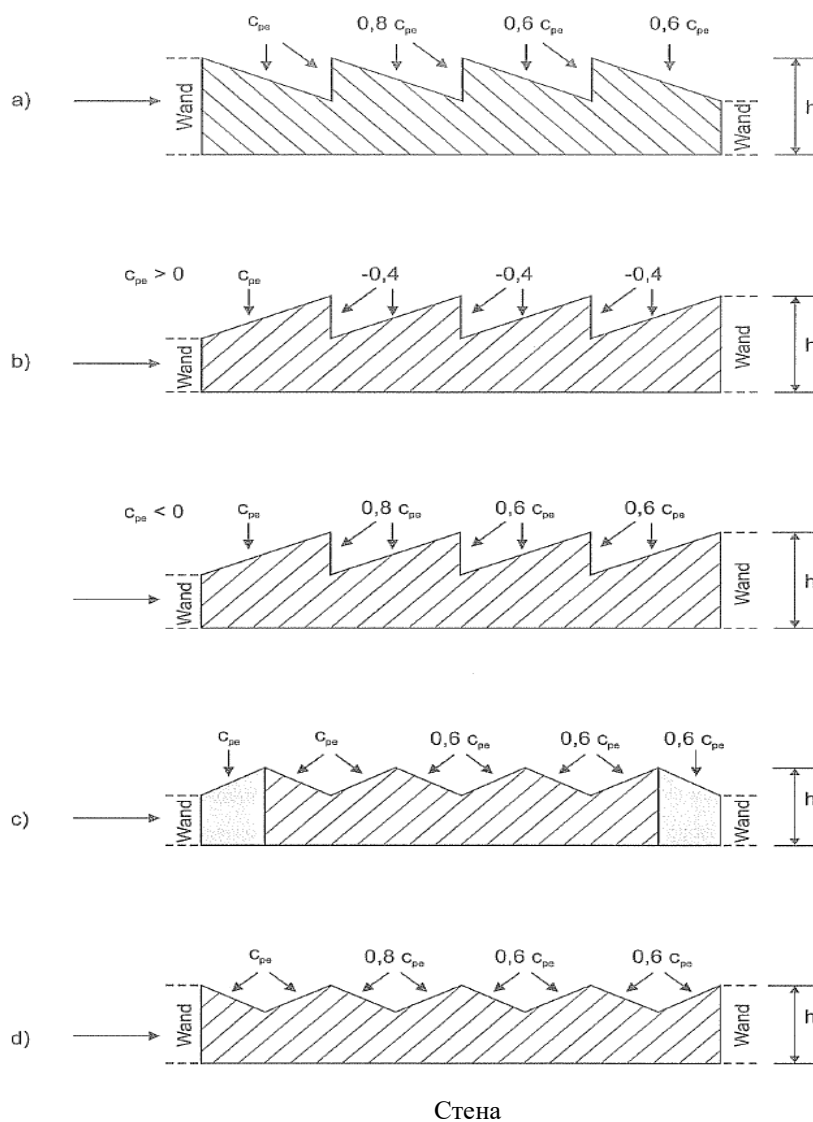
(1) Значение коэффициентов давления для направлений ветра 0° , 90° и 180° для каждого из пролетов многопролетного покрытия могут быть получены из значений коэффициентов для каждого отдельного пролета. Модифицированные коэффициенты для давлений (локальных и общих (глобальных)) для направлений ветра 0° и 180° для каждого пролета должны быть получены:

– для шедовых покрытий по Рисунку 7.10 (a) и (b) используют коэффициенты давления односкатных покрытий по 7.2.4. При направлении набегающего потока, параллельном конькам, применяют значения Таблицы 7.3 для $\theta = 90^\circ$. Для направлений набегающего потока $\theta = 0^\circ$ и 180° значения Таблицы 7.3 уменьшают с учетом коэффициентов по Рисунку 7.10 (a) или (b);

– для шедовых покрытий по Рисунку 7.10 (c) и (d) используют коэффициенты давления для покрытий корытообразного сечения по 7.2.5. При направлении набегающего потока, параллельном конькам, применяют значения Таблицы 7.4 для $\theta = 90^\circ$. Для направлений набегающего потока $\theta = 0^\circ$ и 180° значения таблицы 7.4 для $\theta = 0^\circ$ уменьшают с учетом коэффициентов по Рисунку 7.10 (c) или (d).

(2) При этом зоны F, G и J используют только для наветренной поверхности первого пролета покрытия. Зоны H и I должны рассматриваться для каждого пролета многопролетного (шедового) покрытия.

(3) Базовую высоту z_e следует принимать равной h , см. Рисунок 7.10.



ПРИМЕЧАНИЕ 1 Для конфигурации b) рассматривают два случая в зависимости от знака коэффициента давления c_{pe} для первого пролета покрытия.

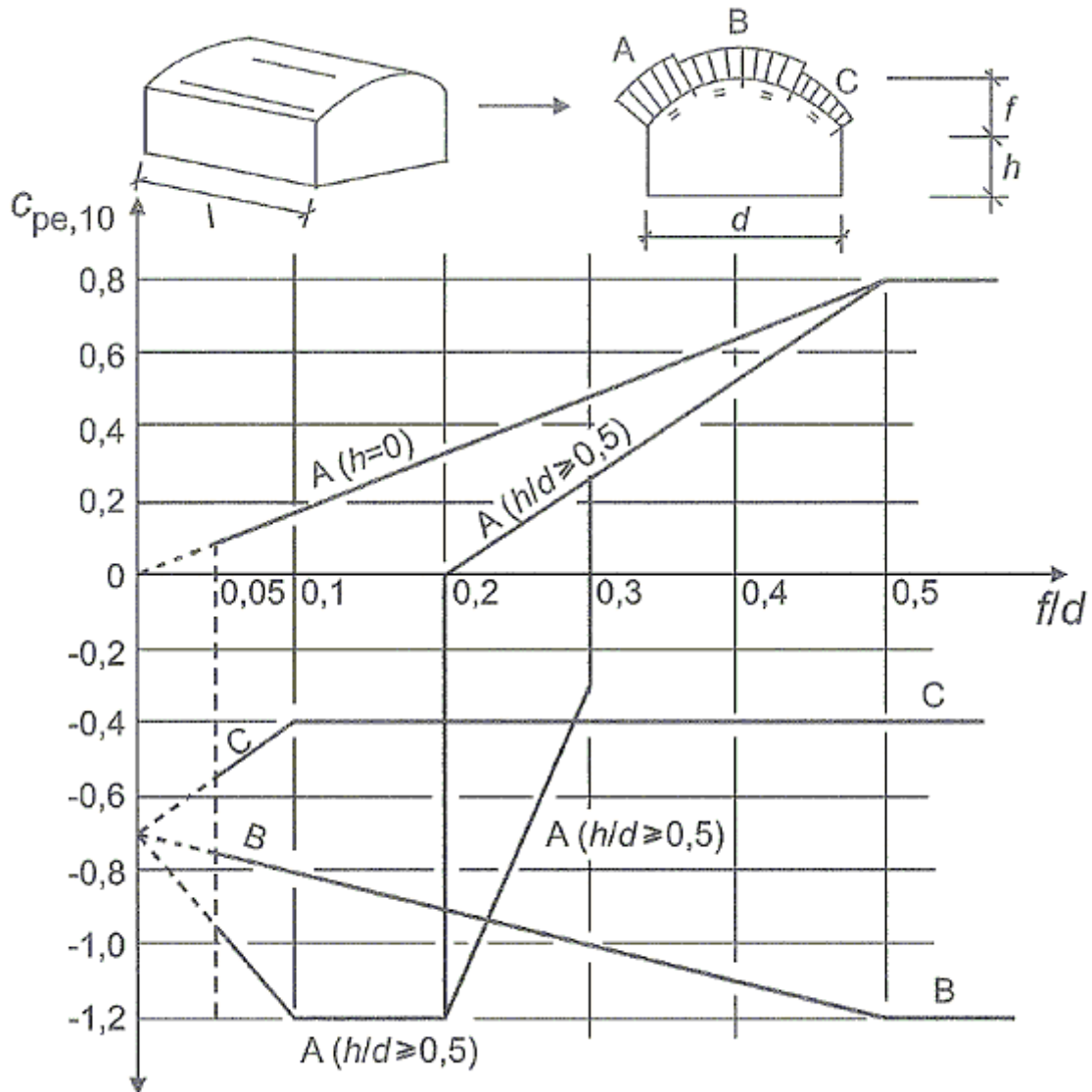
ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для конфигурации c) первым значением c_{pe} является значение c_{pe} для односкатного покрытия, следующие значения c_{pe} – значение c_{pe} для покрытия корытообразного сечения.

Рисунок 7.10 – К распределению давления для многопролетных скатных (шедовых) покрытий

7.2.8 Сводчатые покрытия и купола

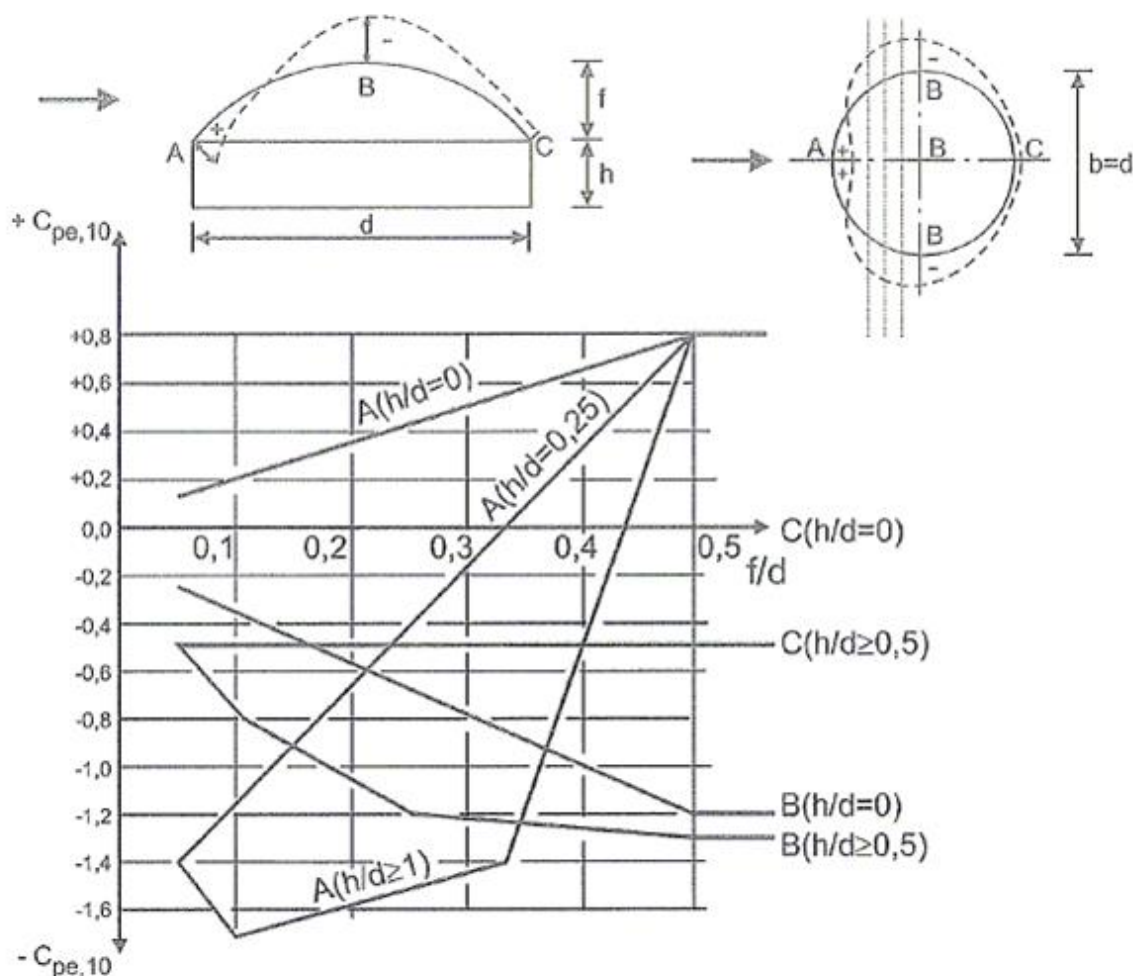
(1) Данный раздел распространяется на покрытия круглой цилиндрической формы и купола.

ПРИМЕЧАНИЕ Значения $c_{pe,10}$ и $c_{pe,1}$, используемые для покрытий круглой цилиндрической формы и куполов, могут указываться в Национальном Приложении. Рекомендуемые значения $c_{pe,10}$ для разных зон на покрытии указаны на Рисунках 7.11 и 7.12. Базовая высота равна $z_e = h + f$.



При $0 < h/d < 0,5$ значение $c_{pe,10}$ определяют линейной интерполяцией, при $0,2 < f/d < 0,3$ и $h/d \geq 0,5$ учитывают два значения $c_{pe,10}$. Диаграмма не распространяется на плоские покрытия

Рисунок 7.11 – Рекомендуемые значения коэффициентов внешнего ветрового давления $c_{pe,10}$ для сводчатых покрытий прямоугольных в плане зданий



Значение $c_{pe,10}$ постоянно вдоль отрезков дуги, образуемой пересечением оболочки с плоскостью нормальной направлению набегающего потока. Его можно определить в первом приближении с помощью линейной интерполяции между значениями вдоль дуг, параллельно направлению действия ветра для зон А, В и С. Так же посредством линейной интерполяции можно определить значения $c_{pe,10}$ на основании приведенного выше рисунка для зоны А при условии, что $0 < h/d < 1$, и для зоны В или С при условии, что $0 < h/d < 0,5$.

Рисунок 7.12 – Рекомендуемые значения коэффициентов внешнего давления $c_{pe,10}$ для куполов круглых в плане зданий

(2) Коэффициенты давления для поверхностей стен прямоугольных в плане зданий со сводчатыми покрытиями содержатся в 7.2.2.

7.2.9 Внутреннее давление

(1) Р Внутреннее и внешнее давления следует рассматривать действующими в одно и тоже время. В помещениях с проницаемыми наружными ограждениями необходимо учитывать внутреннее давление, если его действие неблагоприятно. При этом внутреннее

давление действует на все внутренние стены помещения одновременно и имеет одинаковые знаки.

(2) Коэффициент внутреннего давления c_{pi} зависит от величины и расположения проемов в наружном ограждении здания. Если не менее чем для двух поверхностей здания (фасад и покрытие) общая площадь проемов для каждой из них превышает 30 % общей площади одной поверхности, то обе поверхности считаются полностью открытыми и ветровая нагрузка на рассматриваемое здание определяется на основании правил, установленных в 7.3 и 7.4.

ПРИМЕЧАНИЕ Проемы здания включают небольшие проемы, такие как открытые окна, вентиляционные проемы, дымоходы и т. п., а также общую не герметичность, которая, к примеру, создается за счет неплотных дверей, окон или наружного ограждения. Данная общая не герметичность обычно составляет от 0,01 % до 0,1 % площади наружной поверхности. В Национальное Приложение можно включать дополнительную информацию по данному вопросу.

(3) Значительные по площади наружные проемы (доминантные), такие как двери и окна в предельном состоянии по несущей способности, например при шквалистом ветре, рассматриваются закрытыми, случай с открытыми дверями и окнами должен рассматриваться как особая расчетная ситуация в соответствии с EN 1990.

ПРИМЕЧАНИЕ Проверка в особой расчетной ситуации особенно важна для высоких внутренних стен (с высоким риском угрозы обрушения), если на них по причине наличия проема в наружном ограждении здания приходится вся внешняя ветровая нагрузка.

(4) Поверхность здания следует принимать как доминантную, если общая площадь проемов на данной поверхности не менее чем в 2 раза превышает суммарную площадь всех проемов и неплотностей оставшихся поверхностей здания.

ПРИМЕЧАНИЕ Это может также распространяться на отдельные помещения внутри здания.

(5) Для здания с доминантной поверхностью внутреннее давление следует принимать как часть от внешнего давления, действующего на площадь проемов на доминантной стороне. Если общая площадь проемов на доминантной стороне в 2 раза превышает суммарную площадь всех проемов оставшихся поверхностей здания, то применяют:

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe}. \quad (7.1)$$

Если общая площадь проемов на доминантной стороне не менее чем в 3 раза превышает суммарную площадь всех проемов оставшихся поверхностей здания, то применяют:

$$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe}. \quad (7.2)$$

Значением c_{pe} в этом случае является коэффициент внешнего давления на доминантной поверхности. Если площадь проемов доминантной поверхности располагается в зонах с разными коэффициентами внешнего давления, то определяют средневзвешенное значение c_{pe} с применением площадей проемов.

Если общая площадь проемов на доминантной поверхности менее трехкратного значения, но более удвоенной суммы всех площадей проемов здания, то значение c_{pi} допускается определять линейной интерполяцией.

(6) В зданиях без доминантной поверхности значение c_{pi} допускается определять по Рисунку 7.13. Значение c_{pi} в этом случае зависит от высоты h и ширины d здания, а также от степени проницаемости наружного ограждения μ для каждого направления набегающего потока θ . Степень проницаемости наружного ограждения μ получают следующим образом:

$$\mu = \frac{\sum \text{площадей проемов при } c_{pe} \leq 0}{\sum \text{площадей всех проемов}}.$$

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Это требование распространяется на фасады и покрытия зданий с наличием и без наличия внутренних стен.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Если нельзя определить приемлемый параметр проницаемости наружного ограждения μ или в случае невозможности расчета, для значения c_{pi} применяют самое неблагоприятное значение из плюс 0,2 и минус 0,3.

(7) Базовая высота для внутреннего давления должна быть равной базовой высоте z_e для внешнего давления на боковые поверхности (см. 5.1(1)Р), проемы которых вызывают возникновение внутреннего давления. При наличии нескольких проемов за базовую высоту z_i принимают максимальную из полученных значений z_e .

Коэффициент внутреннего давления для открытых бункеров (силосов) и дымовых труб равен:

$$c_{pi} = -0,60. \quad (7.4)$$

Коэффициент внутреннего давления для вентилируемых резервуаров с небольшими проемами равен:

$$c_{pi} = -0,40. \quad (7.5)$$

Базовая высота z_i соответствует высоте h сооружения.

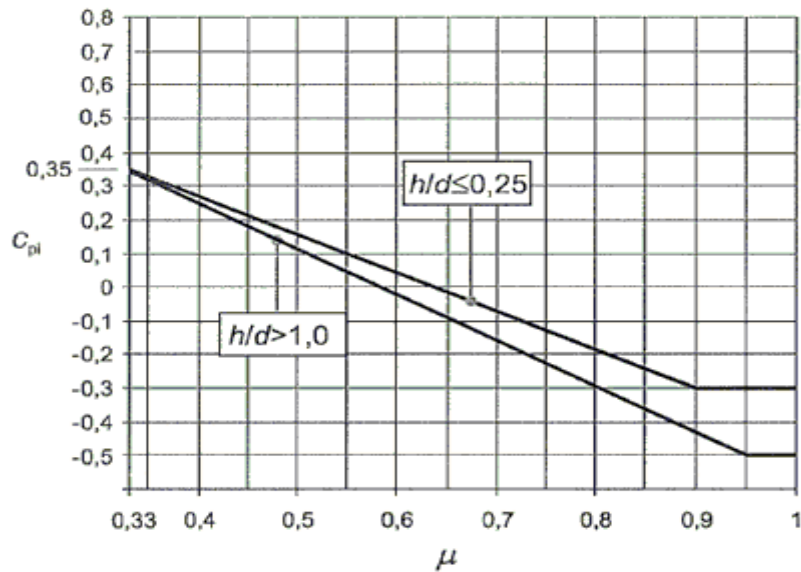


Рисунок 7.13 – Коэффициенты внутреннего давления при равномерно распределенных проемах. При $0,25 < h/d \leq 1$ допускается линейная интерполяция

7.2.10 Давление на многослойные стены и покрытия

- (1) Ветровую нагрузку следует рассчитывать отдельно для каждого слоя.
- (2) Степень проницаемости слоя μ следует определять как отношение суммы всех площадей проемов к общей площади слоя. Слой считается непроницаемым, если значение μ не превышает 0,1 %.
- (3) Если проницаемым является только один слой, то ветровую нагрузку на непроницаемый слой следует рассчитывать в соответствии с 5.2(3) как разность между внутренним и внешним ветровым давлениями. Если более чем один слой является проницаемым, ветровое усилие в каждом слое зависит от:
 - относительной жесткости слоев;
 - внешнего и внутреннего давления;
 - расстояния между слоями;
 - проницаемости слоев;
 - наличия проемов в наружных слоях ограждений между слоями.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 В Национальное Приложение могут быть включены сведения по воздействию ветра на наружные стены и покрытия с несколькими слоями. В качестве первого приближения рекомендуется рассчитывать ветровое воздействие на слой с максимальной жесткостью как разность внутреннего и внешнего давления.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 В Национальное Приложение можно включать значения для случаев, когда промежуточные слои ограждения непроницаемы (см. Рисунок 7.14 (а)) и когда расстояние в свету между слоями менее 100 мм (включая теплоизоляцию, если она не вентилируемая). В качестве приближения могут использоваться следующие правила:

- для стен и покрытий с непроницаемым внутренним слоем и пористым внешним слоем с равномерно распределенными проемами ветровое воздействие на внешний слой следует

рассчитывать с использованием $c_{p,net} = 2/3 \cdot c_{pe}$ – для избыточного давления и $c_{p,net} = 1/3 \cdot c_{pe}$ – для пониженного давления (разрежение). Воздействие ветра на внутренний слой следует определять с использованием $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$.

– для стен и покрытий с непроницаемым внутренним слоем и непроницаемым и более жестким внешним слоем воздействие ветра на внешний слой следует рассчитывать с использованием $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$;

– для стен и покрытий с проницаемым внутренним слоем с равномерно распределенными проемами и непроницаемым внешним слоем ветровое воздействие на внешний слой следует рассчитывать с использованием $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$, а ветровое воздействие на внутренний слой – с использованием $c_{p,net} = 1/3 \cdot c_{pe}$;

– для стен и покрытий с непроницаемым внешним слоем ветровое воздействие на внешний слой следует рассчитывать с использованием $c_{p,net} = c_{pe}$, а ветровое воздействие на внутренний слой – с применением $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$.

Если проемы вызывают взаимодействие воздушных слоев с воздушными слоями других поверхностей здания, отличных от рассматриваемых (см. Рисунок 7.14(b)), данные правила не применимы.

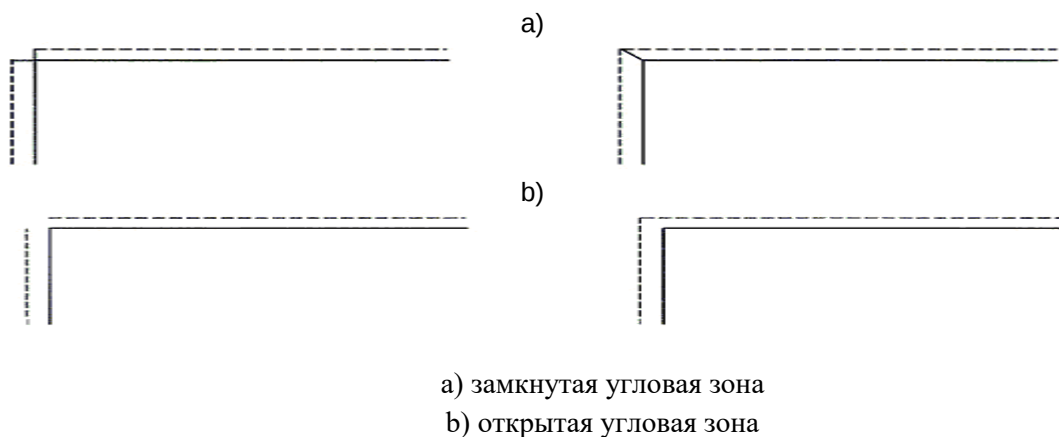


Рисунок 7.14 – Угловые элементы многослойных наружных ограждений

7.3 Отдельно стоящие навесы

(1) Отдельно стоящие навесы – это покрытия, которые не сопряжены со стенами, например навесы на заправочных станциях или навесы на перронах.

(2) Степень заграждения для отдельно стоящих навесов φ в соответствии с Рисунком 7.15 равна отношению заграждаемой площади к общей площади поперечного сечения под покрытием. Обе площади ориентированы нормально к направлению набегающего потока.

ПРИМЕЧАНИЕ $\varphi = 0$ представляет отдельно стоящий навес без заграждения, а $\varphi = 1$ следует понимать как загражденный отдельно стоящий навес (это не замкнутое здание).

(3) Коэффициенты усилия c_f , указанные в Таблицах 7.6 – 7.8, и общие коэффициенты давления $c_{p,net}$ для $\varphi = 0$ и $\varphi = 1$ учитывают результирующую ветровую нагрузку на верхнюю и нижнюю стороны навеса для всех направлений набегающего потока. Промежуточные значения вычисляются интерполированием.

(4) С подветренной стороны применяют значения $c_{p,net}$ максимального заграждения для $\varphi = 0$.

(5) Коэффициент усилия c_f характеризует результирующую силу ветра. Коэффициент давления нетто $c_{p,net}$ определяет максимальное местное давление для всех направлений набегающего потока. Его применяют при расчете элементов покрытий и анкерных креплений.

(6) Отдельно стоящие навесы рассчитывают для следующих схем приложения нагрузки:

– для отдельно стоящих односкатных навесов (Таблица 7.6) следует принимать точку приложения результирующей силы ветрового давления на расстоянии $d/4$ от наветренной стороны (d – размер параллельно действию направления ветра, см. Рисунок 7.16);

– для двухскатных навесов и навесов корытообразного сечения (Таблица 7.7) следует принимать точку приложения результирующей силы ветрового давления в центре наклонной поверхности навеса (см. Рисунок 7.17). Дополнительно для двухскатного навеса или навеса корытного сечения принимают одностороннюю нагрузку на поверхности с максимальной или минимальной нагрузкой, другой слой при этом является незагруженным;

– для отдельно стоящих шедовых навесов нагрузку определяют, применяя значения $c_{p,net}$ по Таблице 7.7 и понижающие коэффициенты ψ_{mc} по Таблице 7.8.

Для отдельно стоящих навесов с двухслойными оболочками применяют правила 7.2.10.

(7) Необходимо учитывать силы трения (см. 7.5).

(8) Базовая высота z_e соответствует высоте h согласно с Рисунками 7.16 и 7.17.

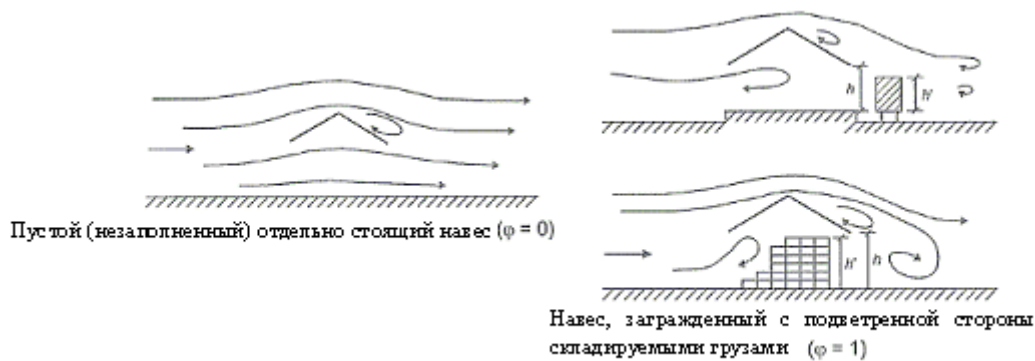
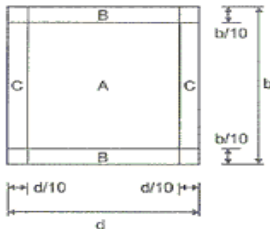


Рисунок 7.15 – Обтекание отдельно стоящих навесов

Таблица 7.6 – Значения $c_{p,net}$ и c_f для отдельно стоящих односкатных навесов

Угол уклона α	Степень заграждения φ	Коэффициент усилия c_f	Коэффициенты давления нетто $c_{p,net}$ План 		
			Зона А	Зона В	Зона С
0°	Максимум все φ	+0,2	+0,5	+1,8	+1,1
	Минимум $\varphi = 0$	-0,5	-0,6	-1,3	-1,4
	Минимум $\varphi = 1$	-1,3	-1,5	-1,8	-2,2
5°	Максимум все φ	+0,4	+0,8	+2,1	+1,3
	Минимум $\varphi = 0$	-0,7	-1,1	-1,7	-1,8
	Минимум $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,2	-2,6
10°	Максимум все φ	+0,5	+1,2	+2,4	+1,6
	Минимум $\varphi = 0$	-0,9	-1,5	-2,0	-2,1
	Минимум $\varphi = 1$	-1,4	-2,1	-2,6	-2,7
15°	Максимум все φ	+0,7	+1,4	+2,7	+1,8
	Минимум $\varphi = 0$	-1,1	-1,8	-2,4	-2,5
	Минимум $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
20°	Максимум все φ	+0,8	+1,7	+2,9	+2,1
	Минимум $\varphi = 0$	-1,3	-2,2	-2,8	-2,9
	Минимум $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
25°	Максимум все φ	+1,0	+2,0	+3,1	+2,3
	Минимум $\varphi = 0$	-1,6	-2,6	-3,2	-3,2
	Минимум $\varphi = 1$	-1,4	-1,5	-2,5	-2,8
30°	Максимум все φ	+1,2	+2,2	+3,2	+2,4
	Минимум $\varphi = 0$	-1,8	-3,0	-3,8	-3,6
	Минимум $\varphi = 1$	-1,4	-1,5	-2,2	-2,7
ПРИМЕЧАНИЕ Положительные значения означают результирующую ветровую нагрузку, направленную вниз. Отрицательные значения означают результирующую ветровую нагрузку, направленную вверх.					

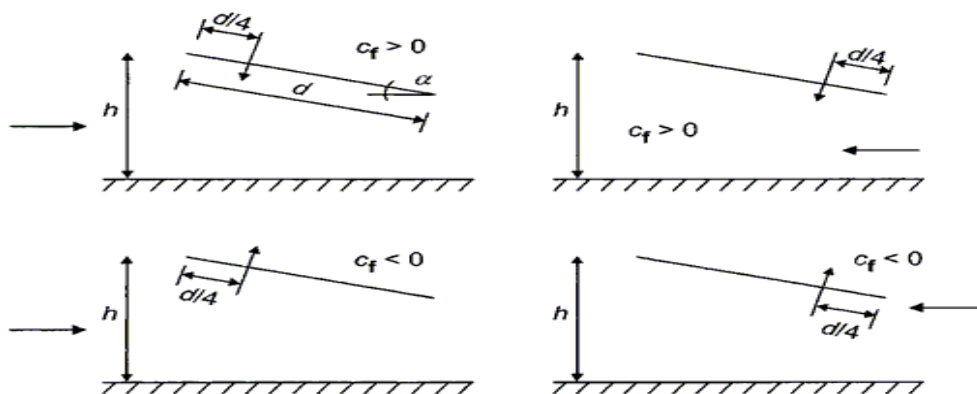


Рисунок 7.16 – Положение центра точки приложения результирующего ветрового давления для отдельно стоящих односкатных навесов

Таблица 7.7 – Значения $c_{p,net}$ и c_f для отдельно стоящих двухскатных навесов и навесов корытного сечения

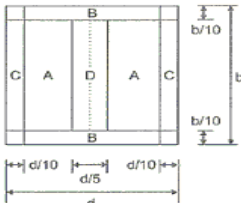
Угол уклона α	Степень заграждения φ	Коэффицие нт усилия c_f	Коэффициенты давления нетто $c_{p,net}$ План			
						
			Зона А	Зона В	Зона С	Зона D
–20°	Максимум все φ	+0,7	+0,8	+1,6	+0,6	+1,7
	Минимум $\varphi = 0$	–0,7	–0,9	–1,3	–1,6	–0,6
	Минимум $\varphi = 1$	–1,3	–1,5	–2,4	–2,4	–0,6
–15°	Максимум все φ	+0,5	+0,6	+1,5	+0,7	+1,4
	Минимум $\varphi = 0$	–0,6	–0,8	–1,3	–1,6	–0,6
	Минимум $\varphi = 1$	–1,4	–1,6	–2,7	–2,6	–0,6
–10°	Максимум все φ	+0,4	+0,6	+1,4	+0,8	+1,1
	Минимум $\varphi = 0$	–0,6	–0,8	–1,3	–1,5	–0,6
	Минимум $\varphi = 1$	–1,4	–1,6	–2,7	–2,6	–0,6
–5°	Максимум все φ	+0,3	+0,5	+1,5	+0,8	+0,8
	Минимум $\varphi = 0$	–0,5	–0,7	–1,3	–1,6	–0,6
	Минимум $\varphi = 1$	–1,3	–1,5	–2,4	–2,4	–0,6

Таблица 7.7 (продолжение)

+5°	Максимум все φ	+0,3	+0,6	+1,8	+1,3	+0,4
	Минимум $\varphi = 0$	-0,6	-0,6	-1,4	-1,4	-1,1
	Минимум $\varphi = 1$	-1,3	-1,3	-2,0	-1,8	-1,5
+10°	Максимум все φ	+0,4	+0,7	+1,8	+1,4	+0,4
	Минимум $\varphi = 0$	-0,7	-0,7	-1,5	-1,4	-1,4
	Минимум $\varphi = 1$	-1,3	-1,3	-2,0	-1,8	-1,8
+15°	Максимум все φ	+0,4	+0,9	+1,9	+1,4	+0,4
	Минимум $\varphi = 0$	-0,8	-0,9	-1,7	-1,4	-1,8
	Минимум $\varphi = 1$	-1,3	-1,3	-2,2	-1,6	-2,1
+20°	Максимум все φ	+0,6	+1,1	+1,9	+1,5	+0,4
	Минимум $\varphi = 0$	-0,9	-1,2	-1,8	-1,4	-2,0
	Минимум $\varphi = 1$	-1,3	-1,4	-2,2	-1,6	-2,1
+25	Максимум все φ	+0,7	+1,2	+1,9	+1,6	+0,5
	Минимум $\varphi = 0$	-1,0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Минимум $\varphi = 1$	-1,3	-1,4	-2,0	-1,5	-2,0
+30°	Максимум все φ	+0,9	+1,3	+1,9	+1,6	+0,7
	Минимум $\varphi = 0$	-1,0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Минимум $\varphi = 1$	-1,3	-1,4	-1,8	-1,4	-2,0
ПРИМЕЧАНИЕ Положительные значения означают результирующую ветровую нагрузку, направленную вниз. Отрицательные значения означают результирующую ветровую нагрузку, направленную вверх.						

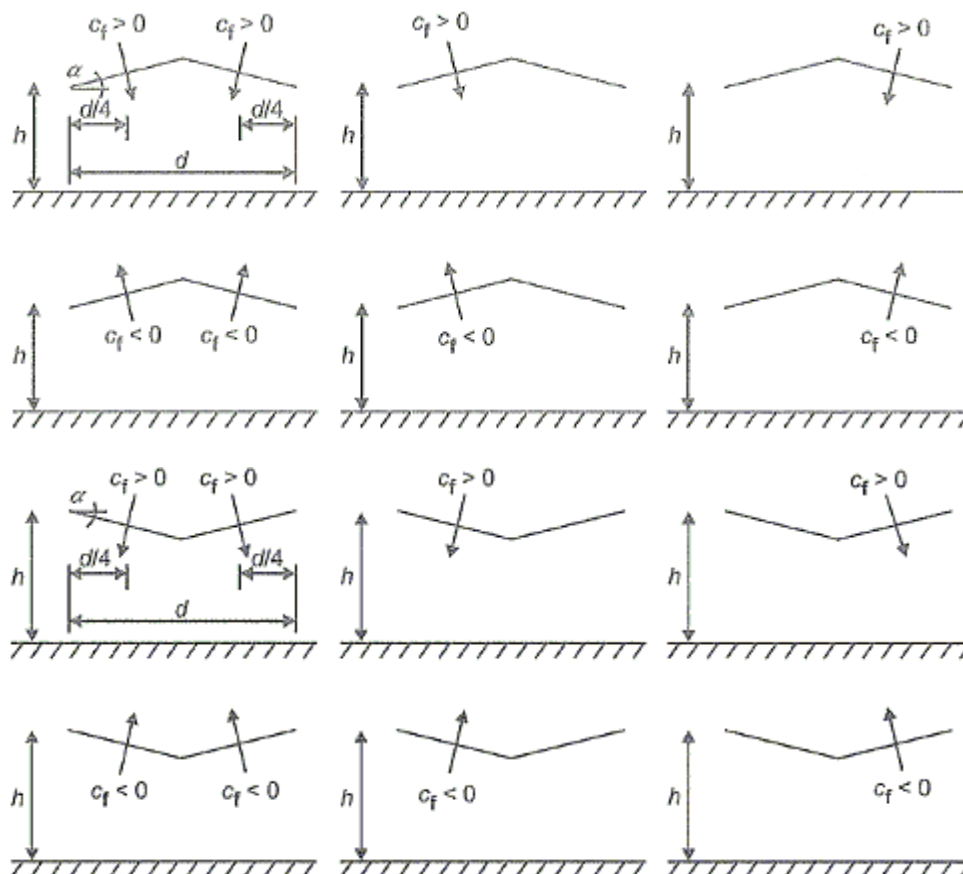


Рисунок 7.17 – Схемы приложения нагрузки для двухскатных навесов и навесов корытообразного сечения

(9) Нагрузки на каждый отдельный скат отдельно стоящих многопролетных (шедовых) навесов (см. Рисунок 7.18) следует определять с применением нагрузок для отдельно стоящего, изолированного двухскатного навеса или навеса корытообразного сечения с понижающим коэффициентом ψ_{mc} по Таблице 7.8.

Таблица 7.8—Понижающие коэффициенты ψ_{mc} для отдельно стоящих многопролетных (шедовых) навесов

Площадь навеса по рисунку 7.18	Местоположение	Значение ψ_{mc} для всех φ	
		На максимальной (вниз)	На минимальной (вверх)
		Коэффициенты усилия и коэффициенты давления	Коэффициенты усилия и коэффициенты давления

Таблица 7.8 (продолжение)

1	Первый (крайний) пролет покрытия	1,0	0,8
2	Второй пролет покрытия	0,9	0,7
3	Третий пролет покрытия	0,7	0,7

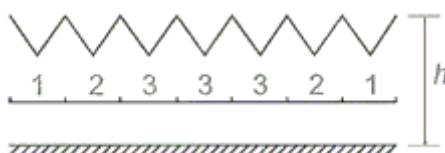


Рисунок 7.18 – Отдельно стоящие шедовые навесы с обозначением пролета покрытия

7.4 Отдельно стоящие стены, парапеты, ограждения и рекламные щиты

(1) Коэффициенты давления нетто $c_{p,net}$ для отдельно стоящих стен и парапетов зависят от коэффициента проемности ϕ . Для сплошных стен коэффициент проемности ϕ устанавливается равным 1, для стен с долей проемов 20 % $\phi = 0,8$. Проницаемые стены и ограждения с коэффициентом проемности $\phi \leq 0,8$ следует рассматривать как решетчатые конструкции по 7.11.

ПРИМЕЧАНИЕ Парапеты и шумозащитные экраны на мостах см. в Разделе 8.

7.4.1 Отдельно стоящие стены и парапеты

(1) Отдельностоящие стены и парапеты для определения коэффициентов давления $c_{p,net}$ подразделяют на зоны А – D по Рисунку 7.19.

ПРИМЕЧАНИЕ Числовые значения коэффициентов давления $c_{p,net}$ для отдельно стоящих стен и парапетов могут указываться в Национальном Приложении. Рекомендуемые значения указаны в Таблице 7.9 для двух различных коэффициентов проемности (см. 7.4(1)). Данные значения возникают при наклонном направлении набегающего потока – для стен без угла (см. Рисунок 7.19) или при действии ветра в двух направлениях – для стен с углом по рисунку 7.19. Базовой площадью в обоих случаях является общая площадь стены. Для коэффициентов проемности между 0,8 и 1,0 допускается линейная интерполяция.

Таблица 7.9 – Коэффициенты давления $c_{p,net}$ для отдельно стоящих стен и парапетов

Коэффициент проемности	Зона		A	B	C	D
φ = 1	Стена без угла	$l/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2	1,2
		$l/h = 5$	2,9	1,8	1,4	1,2
		$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2
	Стена с углом с длиной стороны $\geq h^a)$		±2,1	±1,8	±1,4	±1,2
φ = 0,8			±1,2	±1,2	±1,2	±1,2
a) При длине стороны стены с углом между значениями 0,0 и h допускается линейная интерполяция.						

(2) Базовая высота отдельно стоящей стены z_e должна устанавливаться по рисунку 7.19 с применением $z_e = h$. Базовая высота парапетов определяется как $z_e = (h + h_p)$, см. Рисунок 7.6.

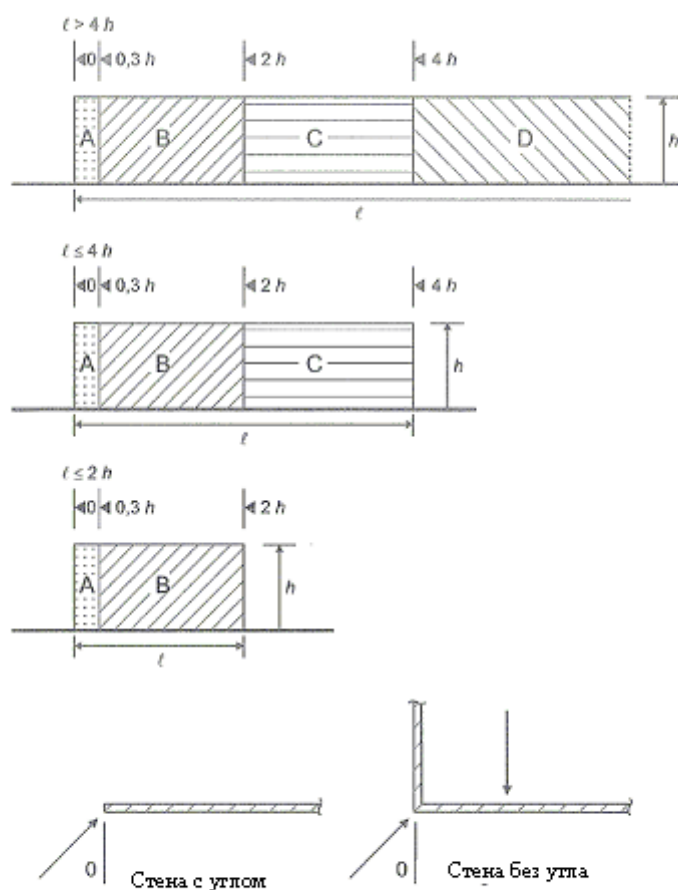


Рисунок 7.19 – Классификация поверхностей для отдельно стоящих стен и парапетов

7.4.2 Коэффициенты заграждения для стен и ограждений

(1) Если с наветренной стороны располагаются другие стены и ограждения, имеющие высоту, равную или большую, чем высота рассматриваемой стены или ограждения, то с коэффициентом давления нетто по зонам может быть применен дополнительный коэффициент заграждения. Значение коэффициента заграждения ψ_s зависит от расстояния x между стенами или ограждениями, а также от коэффициента проемности ϕ заграждающей, расположенной с наветренной стороны стены или ограждения высотой h . Значения коэффициента ψ_s представлены на Рисунке 7.20.

Коэффициент давления нетто заграждающей стены вычисляют по формуле

$$C_{p,net,s} = \psi_s \cdot C_{p,net}. \quad (7.6)$$

(2) Коэффициент заграждения не следует применять в крайних зонах в пределах расстояния h , измеряемого от свободного края стены.

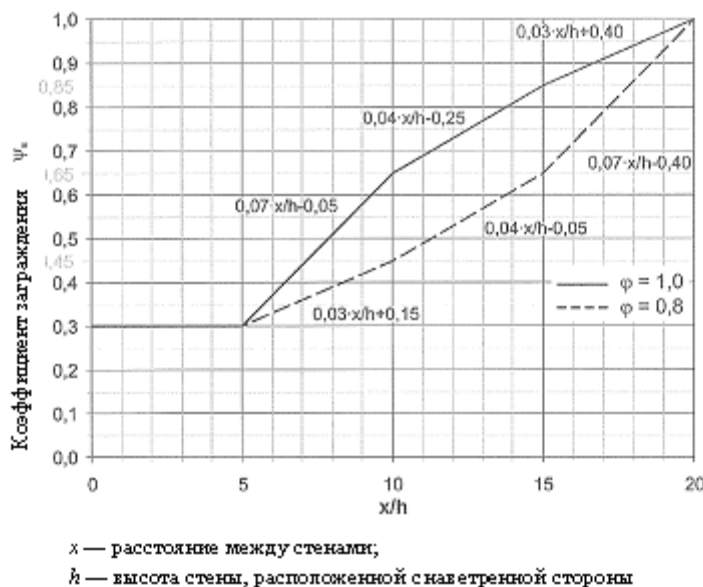


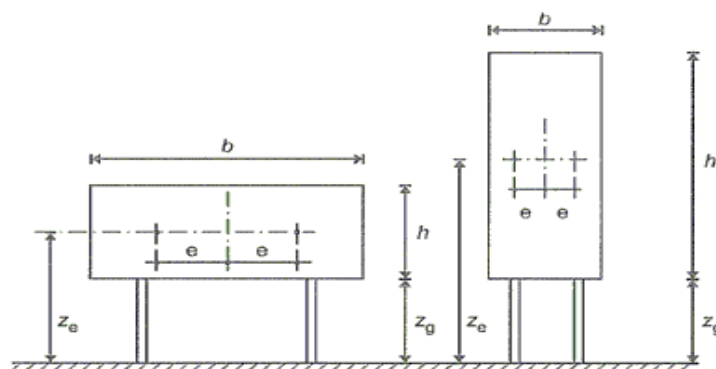
Рисунок 7.20 – Коэффициент заграждения ψ_s для стен и ограждений для значений ϕ от 0,8 до 1,0

7.4.3 Рекламные щиты

(1) Коэффициент усилия для рекламных щитов, поднятых над уровнем земли не менее чем на $z_g = h/4$ (см. Рисунок 7.21), составляет:

$$c_f = 1,80, \quad (7.7)$$

Допускается также применять для $z_g < h/4$ и $b/h \leq 1$.



ПРИМЕЧАНИЕ 1 Базовая высота $z_e = z_g + h/2$.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Базовая площадь $A_{\text{ref}} = bh$.

Рисунок 7.21 – К распределению давления для рекламных щитов

(2) Результирующее ветровое усилие, направленное по нормали к плоскости щита, следует прикладывать на высоте его геометрического центра, с эксцентриситетом в горизонтальном направлении.

ПРИМЕЧАНИЕ Величина эксцентриситета может указываться в Национальном Приложении. Рекомендуемое значение составляет:

$$e = \pm 0,25b. \quad (7.8)$$

(3) При расстоянии от уровня земли $z_g < h/4$ и отношении ширины к высоте $b/h > 1$ щит следует рассматривать как отдельно стоящую стену (см. 7.4.1).

(4) Следует проводить проверку на потерю устойчивости вследствие дивергенции или срывного флаттера.

7.5 Коэффициенты трения

(1) Во всех случаях, приведенных в 5.3(3), нужно учитывать влияние трения.

(2) Коэффициенты трения c_{fr} для стен и покрытий указаны в Таблице 7.10.

(3) Базовые площади поверхности A_{fr} представлены на Рисунке 7.22. Силы трения следует прикладывать на части внешней поверхности, параллельные действию ветра на расстояниях от передних свесов покрытия или углов, равных $2b$ или $4h$ (определяющим является меньшее значение).

(4) Базовая высота z_e для отдельно стоящих навесов равна высоте навеса, для стен – высоте h верхней отметки стены (см. Рисунок 7.22).

Таблица 7.10 – Коэффициенты трения c_{fr} для стен, парапетов и поверхностей покрытий

Поверхность	Коэффициент трения c_{fr}
Гладкая (например, сталь, гладкий бетон)	0,01
Шероховатая (например, шероховатый бетон, просмоленные поверхности)	0,02
Очень шероховатая (например, гофрированная, ребристая, складчатая)	0,04

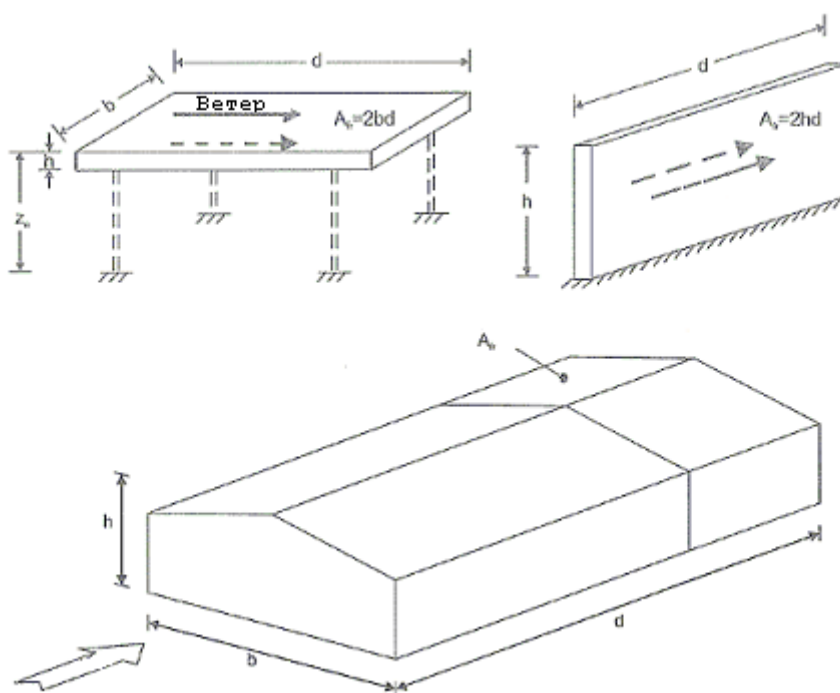


Рисунок 7.22 – Базовая площадь для трения

7.6 Конструктивные элементы конструкций с прямоугольным сечением

(1) Коэффициент усилия c_f для конструктивных элементов с прямоугольным поперечным сечением при направлении набегающего потока нормально стороне поперечного сечения равен

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_{\lambda}, \quad (7.9)$$

где

$c_{f,0}$ – коэффициент усилия для конструкций прямоугольного поперечного сечения с острыми углами без обтекания свободных концов, как показано на Рисунке 7.23;

ψ_r – понижающий коэффициент для конструкций квадратного поперечного сечения со скругленными углами в зависимости от числа Рейнольдса;

ψ_λ – коэффициент, учитывающий концевой эффект для конструкций со свободным обтеканием концов, как определено в 7.13.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Числовые значения коэффициента ψ_r могут быть указаны в Национальном Приложении. Рекомендуемые верхние предельные значения указаны на на Рисунке 7.24. Они определены для условий слабой турбулентности и являются безопасными.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Рисунок 7.24 можно также применять для зданий с $h/d > 5,0$.

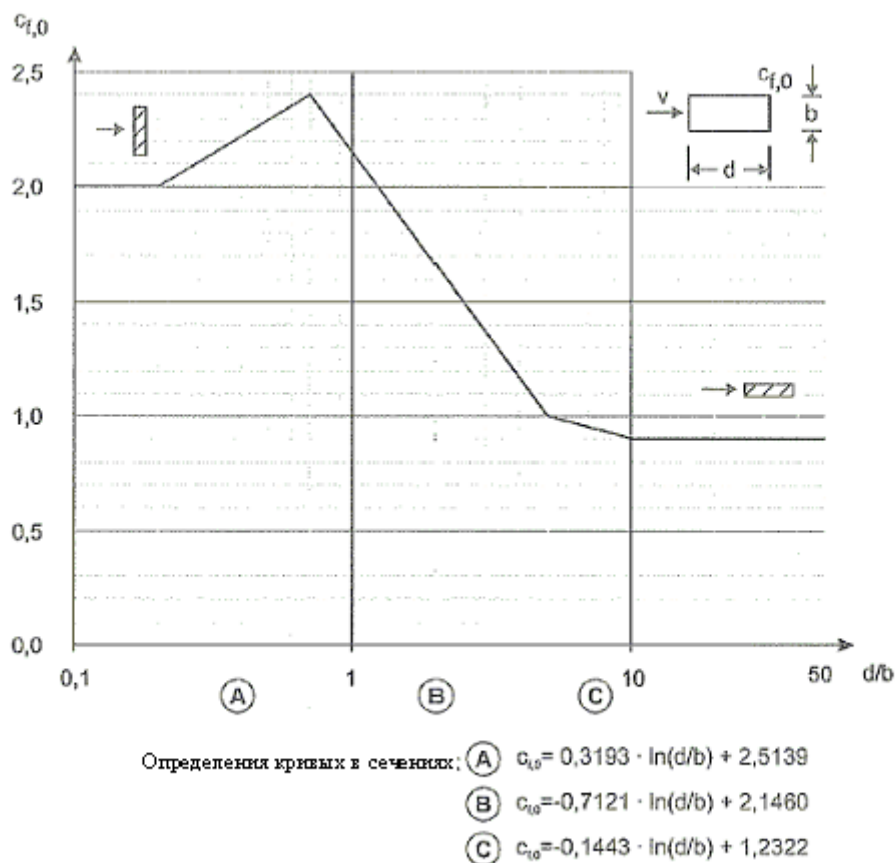


Рисунок 7.23 – Коэффициенты трения $c_{f,0}$ для конструкций прямоугольного поперечного сечения с острыми углами без обтекания свободного конца

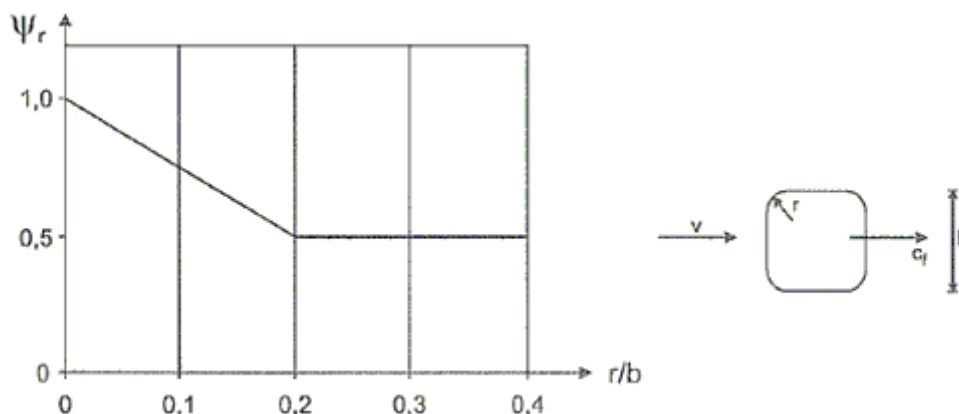


Рисунок 7.24 – Понижающий коэффициент ψ_r для конструкций квадратного поперечного сечения со скругленными углами

(2) Базовую площадь A_{ref} следует определять по формуле

$$A_{\text{ref}} = lb, \quad (7.10)$$

где l – длина рассматриваемого участка.

Базовая высота z_e равна верхней отметке рассматриваемого участка над верхней точкой местности.

(3) Для пластинчатых поперечных сечений ($d/b < 0,2$) подъемные силы при определенных углах атаки набегающего потока могут приводить к повышению значений c_f до 25 % включительно.

7.7 Конструктивные элементы с резкими углами (краями) в сечении

(1) Коэффициент усилия c_f конструктивных элементов с резкими углами в сечении (см. Рисунок 7.25) следует рассчитывать по формуле

$$c_f = c_{f,0} \psi_\lambda, \quad (7.11)$$

где ψ_λ – коэффициент, учитывающий краевой эффект (см. 7.13).

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Числовые значения $c_{f,0}$ могут быть указаны в Национальном Приложении. Рекомендуемое значение для всех элементов конструкции без свободного обтекания краев сечения $c_{f,0} = 2,0$. Это значение основывается на измерениях при слабых турбулентных условиях и дает безопасный результат.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Формула (7.11) и Рисунок 7.25 могут применяться также для зданий с $h/d > 5,0$.

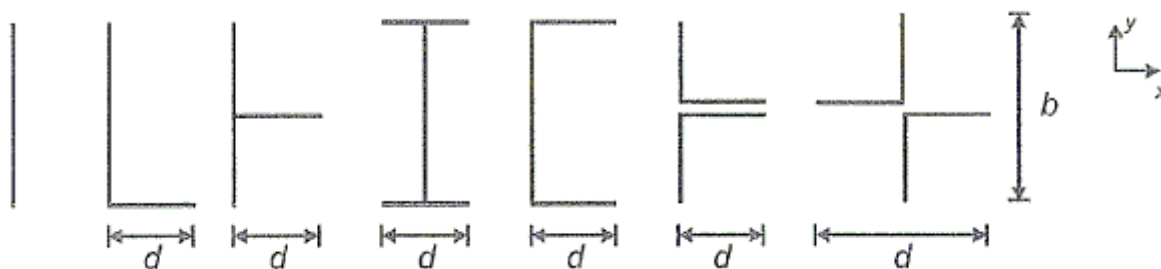


Рисунок 7.25 – Сечения с резкими углами в сечении

- (2) Следует принимать следующие значения базовой площади A_{ref} (см. рисунок 7.25):
- в направлении x $A_{\text{ref},x} = lb;$
 - (7.12)
 - в направлении y $A_{\text{ref},y} = ld,$
- где l – длина рассматриваемого конструктивного элемента.

(3) Во всех случаях базовую высоту z_e следует принимать равной максимальной высоте над поверхностью земли для рассматриваемого сечения.

7.8 Конструктивные элементы с поперечным сечением, имеющим форму правильного многоугольника

(1) Коэффициент усилия c_f конструктивных элементов с поперечным сечением, имеющим форму правильного многоугольника с пятью или семью гранями равен

$$c_f = c_{f,0} \psi_\lambda, \quad (7.13)$$

где

ψ_λ – коэффициент, учитывающий концевой эффект, определяемый по 7.13;

$c_{f,0}$ – коэффициент усилия для конструктивных элементов без обтекания свободного конца.

ПРИМЕЧАНИЕ Числовые значения $c_{f,0}$ могут устанавливаться в Национальном Приложении. Рекомендуемые консервативные значения, полученные измерениями при слабых турбулентных условиях, указаны в Таблице 7.11.

(2) Для зданий с $h/d > 5$ значение $c_{f,0}$ можно определить по Формуле (7.13) с применением данных, указанных в Таблице 7.11 и на Рисунке 7.26.

(3) Базовую площадь A_{ref} следует определять по формуле

$$A_{\text{ref}} = fb, \quad (7.14)$$

где

l – длина рассматриваемого элемента конструкции;

b – диаметр описанной окружности, см. Рисунок 7.26.

(4) Во всех случаях базовую высоту z_e следует принимать равной максимальной высоте над поверхностью земли для рассматриваемого сечения.

Таблица 7.11 – Коэффициенты усилия $c_{f,0}$ для конструкций с поперечным сечением, имеющим форму правильного многоугольника

Число сторон	Поперечное сечение	Свойства поверхности и исполнение кромок	Число Рейнольдса $Re^{1)}$	$c_{f,0}$
5	Пятиугольник	Все	Все	1,80
6	Шестиугольник	Все	Все	1,60
8	Восьмиугольник	Гладкая поверхность $r/b < 0,075^{2)}$	$Re \leq 2,4 \cdot 10^5$	1,45
			$Re \geq 3 \cdot 10^5$	1,30
		Гладкая поверхность $r/b \geq 0,075^{2)}$	$Re \leq 2 \cdot 10^5$	1,30
			$Re \geq 7 \cdot 10^5$	1,10
10	Десятиугольник	Все	Все	1,30
12	Двенадцатиугольник	Гладкая поверхность ³⁾ со скругленными кромками	$2 \cdot 10^5 < Re < 1,2 \cdot 10^5$	0,90
		Другое	$Re < 4 \cdot 10^5$	1,30
			$Re > 4 \cdot 10^5$	1,10
16 – 18	Шестнадцатиугольник	Гладкая поверхность ³⁾ со скругленными кромками	$Re < 2 \cdot 10^5$	Как круговой цилиндр, см. 7.9
			$2 \cdot 10^5 \leq Re < 1,2 \cdot 10^5$	0,70

¹⁾ Числа Рейнольдса Re для $v = v_m$ и значения v_m – см. 4.3. Re определено в 7.9.
²⁾ r – радиус закругления, b – диаметр описанной окружности.
³⁾ Определена с помощью испытаний в аэродинамической трубе на модели с гальванизированными стальными поверхностями с поперечным сечением $b = 0,3$ м и радиусом скругления $0,6b$.

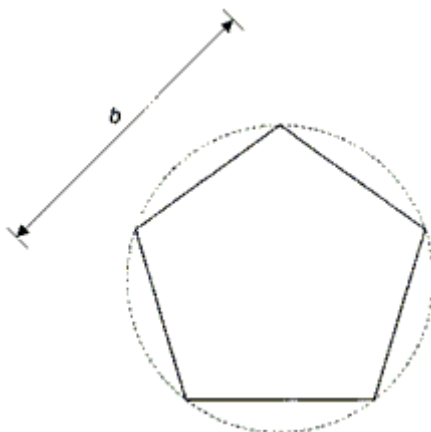


Рисунок 7.26 – Конструктивный элемент с поперечным сечением, имеющим форму правильного многоугольника

7.9 Круговой цилиндр

7.9.1 Коэффициенты внешнего давления

(1) Коэффициент внешнего давления c_{pe} для кругового цилиндра зависит от числа Рейнольдса Re , которое определяется по формуле

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu}, \quad (7.15)$$

где

b – диаметр;

ν – кинематическая вязкость воздуха ($\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$);

$v(z_e)$ – пиковое значение скорости ветра в соответствии с примечанием 2 к Рисунку 7.27 на высоте z_e (см. Рисунок 6.1).

(2) Коэффициент внешнего давления c_{pe} для кругового цилиндра равен

$$c_{pe} = c_{p,0} \psi_{\lambda,0}, \quad (7.16)$$

где

$c_{p,0}$ – коэффициент внешнего давления для цилиндра с бесконечной гибкостью λ (см. (3));

$\psi_{\lambda,0}$ – коэффициент, учитывающий концевой эффект для кругового цилиндра (см. (4)).

(3) На Рисунке 7.27 представлен коэффициент внешнего давления $c_{p,0}$ для различных значений чисел Рейнольдса в зависимости от угла α .

(4) Коэффициент для кругового цилиндра без обтекания свободного конца $\psi_{\lambda,0}$ равен

$$\begin{aligned} \psi_{\lambda,0} &= 1 && \text{при } 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\min}; \\ \psi_{\lambda,0} &= \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos \left(\frac{\chi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}} \right) \right) && \text{при } \alpha_{\min} < \alpha < \alpha_A; \end{aligned} \quad (7.17)$$

$$\psi_{\lambda,0} = \psi_{\lambda} \text{ при } \alpha_A \leq \alpha \leq 180^\circ,$$

где

α_A – положение отрыва потока на окружности (см. Рисунок 7.27);

ψ_{λ} – коэффициент, учитывающий концевой эффект (см. 7.13).

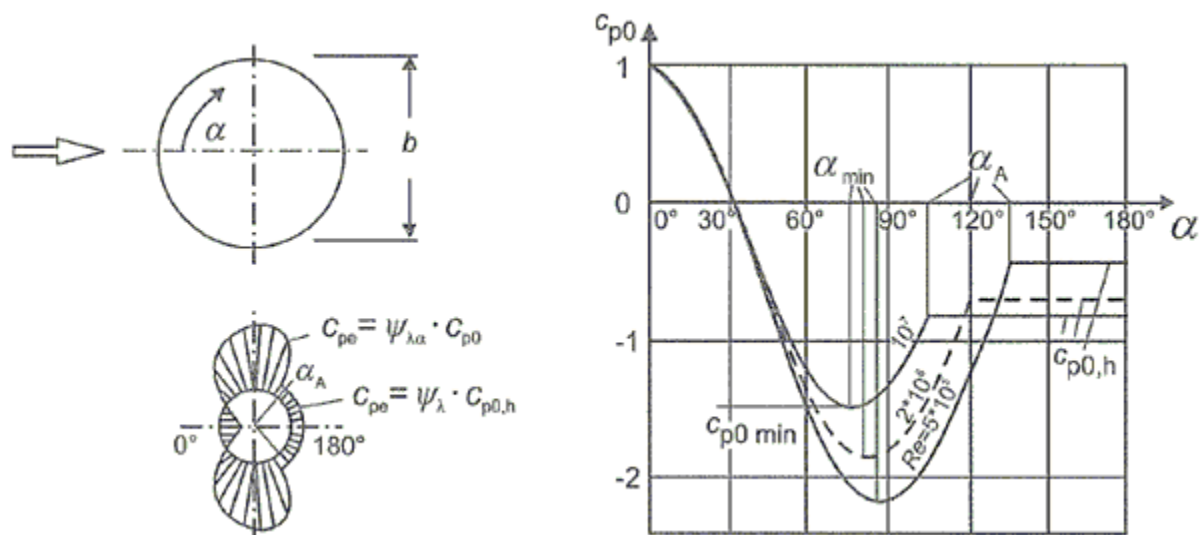


Рисунок 7.27 – Распределение давления по поперечному сечению кругового цилиндра без обтекания свободного конца

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Промежуточные значения допускается принимать линейной интерполяцией.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Репрезентативные значения Re , $\alpha_{\min}$, $c_{p0, \min}$, α_A и $c_{p0,h}$ указаны в

Таблице 7.12. Рисунок 7.27 и Таблица 7.12 базируются на числе Рейнольдса при $V = \sqrt{\frac{2q_p}{\rho}}$ и q_p по 4.5.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Рисунок 7.27 базируется на эквивалентной шероховатости k/b , не превышающей $5 \cdot 10^{-4}$. Репрезентативные значения эквивалентной шероховатости k указаны в таблице 7.13.

Таблица 7.12 – Репрезентативные значения Re , $\alpha_{\min}$, $c_{p0, \min}$, α_A и $c_{p0,h}$ для поперечного сечения кругового цилиндра без обтекания свободного конца

Re	$\alpha_{\min}$	$c_{p0, \min}$	α_A	$c_{p0,h}$
$5 \cdot 10^5$	85°	-2,2	135°	-0,4
$2 \cdot 10^5$	80°	-1,9	120°	-0,7
10^7	75°	-1,5	105°	-0,8

Таблица 7.12 (продолжение)

Где $\alpha_{\min}$ — положение минимального давления;
 $c_{p0,\min}$ — значение минимального коэффициента давления;
 α_A — положение от отрыва потока;
 $c_{p0,h}$ — основной коэффициент давления.

(5) Базовую площадь A_{ref} следует определять по формуле

$$A_{\text{ref}} = lb. \quad (7.18)$$

(6) Во всех случаях базовую высоту z_e следует принимать равной максимальной высоте над поверхностью земли для рассматриваемого сечения.

7.9.2 Коэффициенты усилия

(1) Коэффициент усилия c_f конечного кругового цилиндра равен

$$c_f = c_{f,0} \psi_\lambda, \quad (7.19)$$

где

$c_{f,0}$ — коэффициент усилия кругового цилиндра без обтекания свободного конца (см. Рисунок 7.28);

ψ_λ — коэффициент, учитывающий концевой эффект (см. 7.13).

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Рисунок 7.28 может также применяться для зданий с $h/d > 5,0$.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Рисунок 7.28 базируется на числе Рейнольдса при $v = \sqrt{\frac{2q_p}{\rho}}$ и q_p по 4.5.

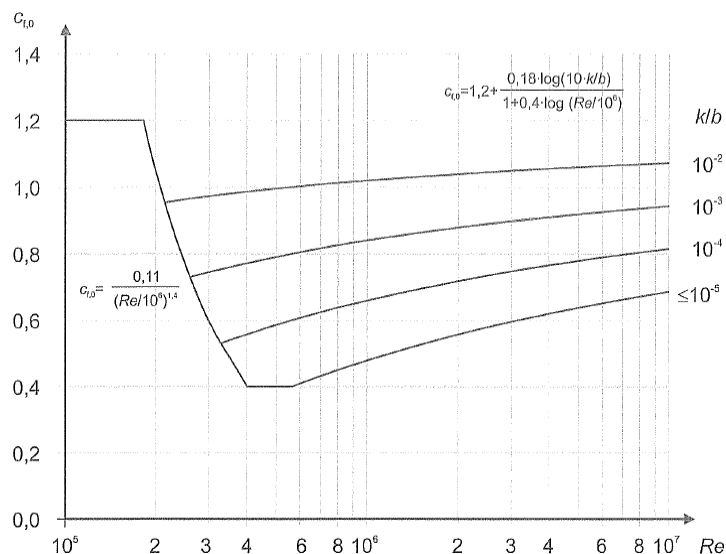


Рисунок 7.28 – Коэффициент усилия $c_{f,0}$ круговых цилиндров с бесконечной гибкостью для разных значений эквивалентной шероховатости k/b

(2) Значения эквивалентной шероховатости k указаны в Таблице 7.13.

(3) Коэффициент усилия $c_{f,0}$ для проволочных канатов применяют независимо от числа Рейнольдса, $c_{f,0} = 1,2$.

Таблица 7.13 – Эквивалентная шероховатость k

Поверхность	Эквивалентная шероховатость k , мм	Поверхность	Эквивалентная шероховатость k , мм
Стекло	0,0015	Гладкий бетон	0,2
Полированный металл	0,002	Строганное дерево	0,5
Высококачественная окраска	0,006	Шероховатый бетон	1,0
Окраска напылением	0,02	Грубо распиленная древесина	2,0
Сталь со светлой поверхностью (без покрытия)	0,05	Ржавчина	2,0
Чугун	0,2	Кирпичная кладка	3,0
Гальванизированная сталь	0,2		

(4) Базовую площадь A_{ref} следует определять по формуле

$$A_{\text{ref}} = lb, \quad (7.20)$$

где l – длина рассматриваемого конструктивного элемента.

(5) Во всех случаях базовую высоту z_e следует принимать равной максимальной высоте над поверхностью земли для рассматриваемого сечения.

(6) Для цилиндров с относительно ровной поверхностью с расстоянием в свету $z_g/b < 1,5$ над уровнем земли (см. Рисунок 7.29) требуются специальные исследования.

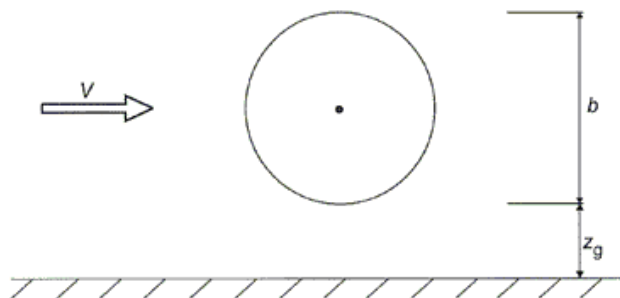


Рисунок 7.29 – Цилиндр с относительно ровной поверхностью

7.9.3 Коэффициенты усилия для вертикальных цилиндров, расположенных в ряд

При расположении цилиндров в ряд коэффициент усилия $c_{f,0}$ зависит от направления ветра относительно оси ряда и от отношения расстояния, a к среднему диаметру b – см. Таблицу 7.14. Коэффициент усилия c_f для любого цилиндра равен

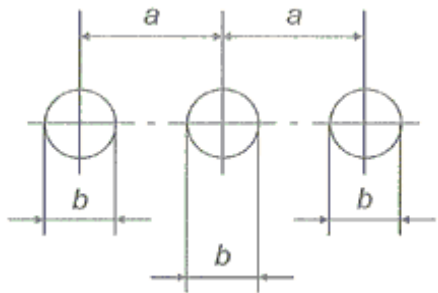
$$c_f = c_{f,0} \psi_\lambda K, \quad (7.21)$$

где $c_{f,0}$ – коэффициент усилия кругового цилиндра без обтекания свободного конца (см. 7.9.2);

ψ_λ – коэффициент, учитывающий концевой эффект (см. 7.13);

K – коэффициент в соответствии с Таблицей 7.14 (для самого неблагоприятного направления набегающего потока).

Таблица 7.14 – Коэффициент κ для круговых цилиндров, расположенных в ряд

a/b	κ	
$a/b < 3,5$	1,15	
$3,5 < a/b < 30$	$\kappa = \frac{210 - \frac{a}{b}}{180}$	
$a/b > 30$	1,00	
a – расстояние; b – диаметр.		

7.10 Сферы

(1) Коэффициент усилия $c_{f,x}$ для сфер в направлении действия ветра представляет собой функцию числа Рейнольдса Re (см. 7.9.1) и эквивалентной шероховатости k/b (см. Таблицу 7.13).

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Значения коэффициента усилия $c_{f,x}$ могут устанавливаться в Национальном Приложении. Рекомендуемые значения на основании измерений при слабых турбулентных условиях представлены на рисунке 7.30. Рисунок 7.30 базируется на числе Рейнольдса при

$$v = \sqrt{\frac{2q_p}{\rho}} \text{ и } q_p \text{ по 4.5.}$$

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Значения на Рисунке 7.30 ограничены значениями $z_g > b/2$, где z_g – расстояние в свету между сферой и плоской поверхностью, а b – диаметр сферы (см. Рисунок 7.31). При $z_g < b/2$ коэффициент усилия $c_{f,x}$ умножают на коэффициент 1,6.

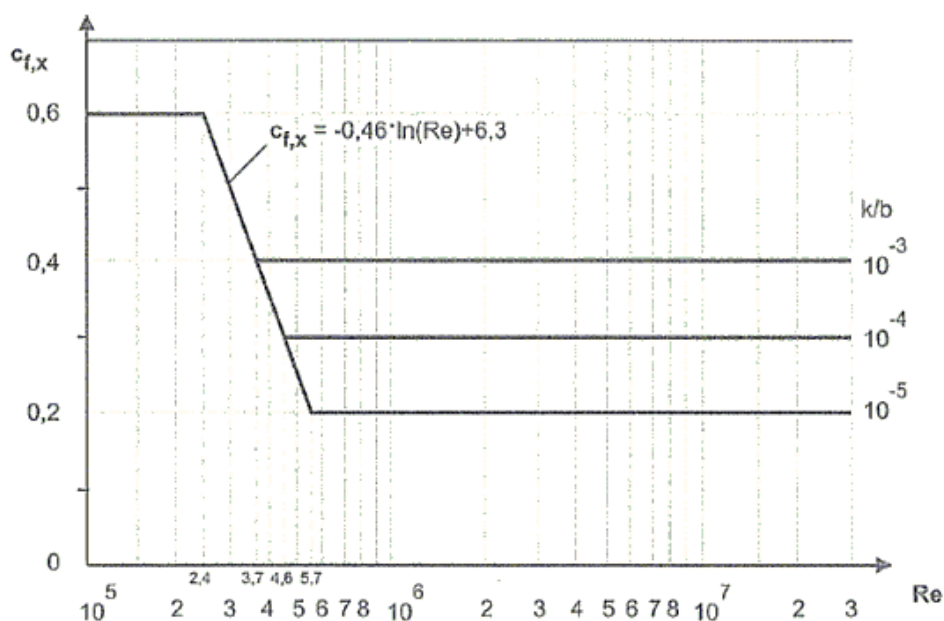


Рисунок 7.30 – Коэффициент усилия сферы в направлении действия ветра

(2) Вертикальный коэффициент усилия $c_{f,x}$ сфер по Формуле (7.22) равен

$$c_{f,x} = 0 \quad \text{при} \quad z_g > \frac{b}{2}; \quad (7.22)$$

$$c_{f,x} = +0,60 \quad \text{при} \quad z_g < \frac{b}{2}.$$

(3) Базовую площадь A_{ref} следует определять по Формуле (7.23)

$$A_{\text{ref}} = \pi \cdot \frac{b^2}{4}. \quad (7.23)$$

(4) Базовую высоту следует определять по Формуле (7.24)

$$z_e = z_g + \frac{b}{2}. \quad (7.24)$$

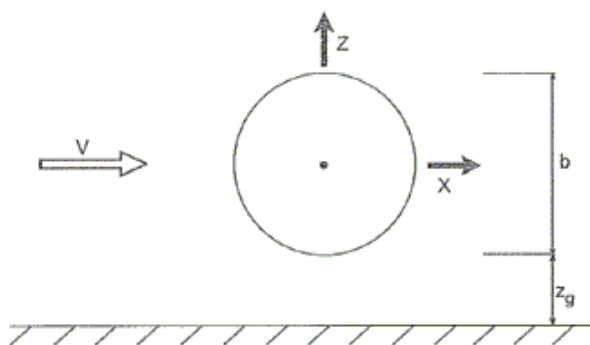


Рисунок 7.31 – Сфера вблизи плоской поверхности

7.11 Решетчатые конструкции и леса

(1) Коэффициент усилия c_f для решетчатых конструкций и лесов следует определять по Формуле (7.25)

$$c_f = c_{f,0} \psi_\lambda, \quad (7.25)$$

где

$c_{f,0}$ – коэффициент усилия решетчатых конструкций и лесов без обтекания свободного конца. Он указан на Рисунках 7.33 – 7.35 как функция коэффициента проемности ϕ (см. 7.11(2)) и числа Рейнольдса Re ;

Re – число Рейнольдса, принимаемое на основании среднего диаметра стержня b , см. Примечание 1;

ψ_λ – коэффициент, учитывающий концевой эффект (см. 7.13), который рассчитывается с применением l и ширины $b = d$, по Рисунку 7.32.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 – Рисунки базируются на числе Рейнольдса при $V = \sqrt{\frac{2q_p}{\rho}}$ и q_p по 4.5.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 – Понижающие коэффициенты для лесов без воздухопроницаемого ограждения, на которые оказывают влияние затенения сплошных сооружений, могут указываться в Национальном Приложении. Рекомендуемые значения указаны в prEN 12811.

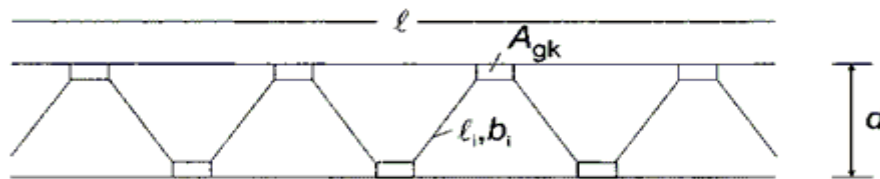


Рисунок 7.32 – Решетчатые конструкции или леса

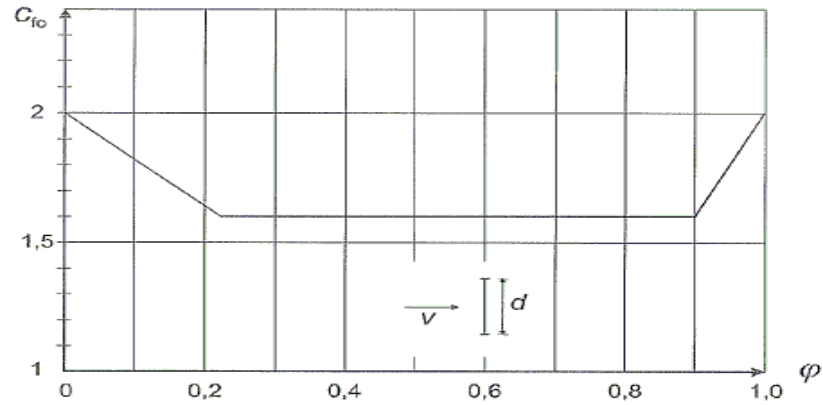


Рисунок 7.33 – Коэффициент усилия c_{f0} решетчатых конструкций из угловых профилей с острыми кромками в зависимости от коэффициента проемности φ

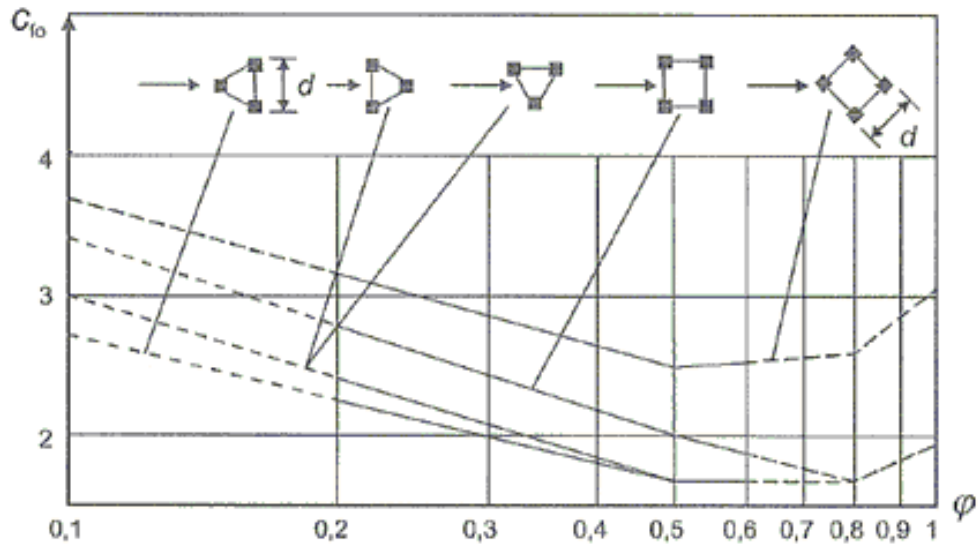


Рисунок 7.34 – Коэффициент усилия c_{f0} для пространственной решетчатой конструкции из угловых профилей и из профилей с острыми кромками в зависимости от коэффициента проемности φ

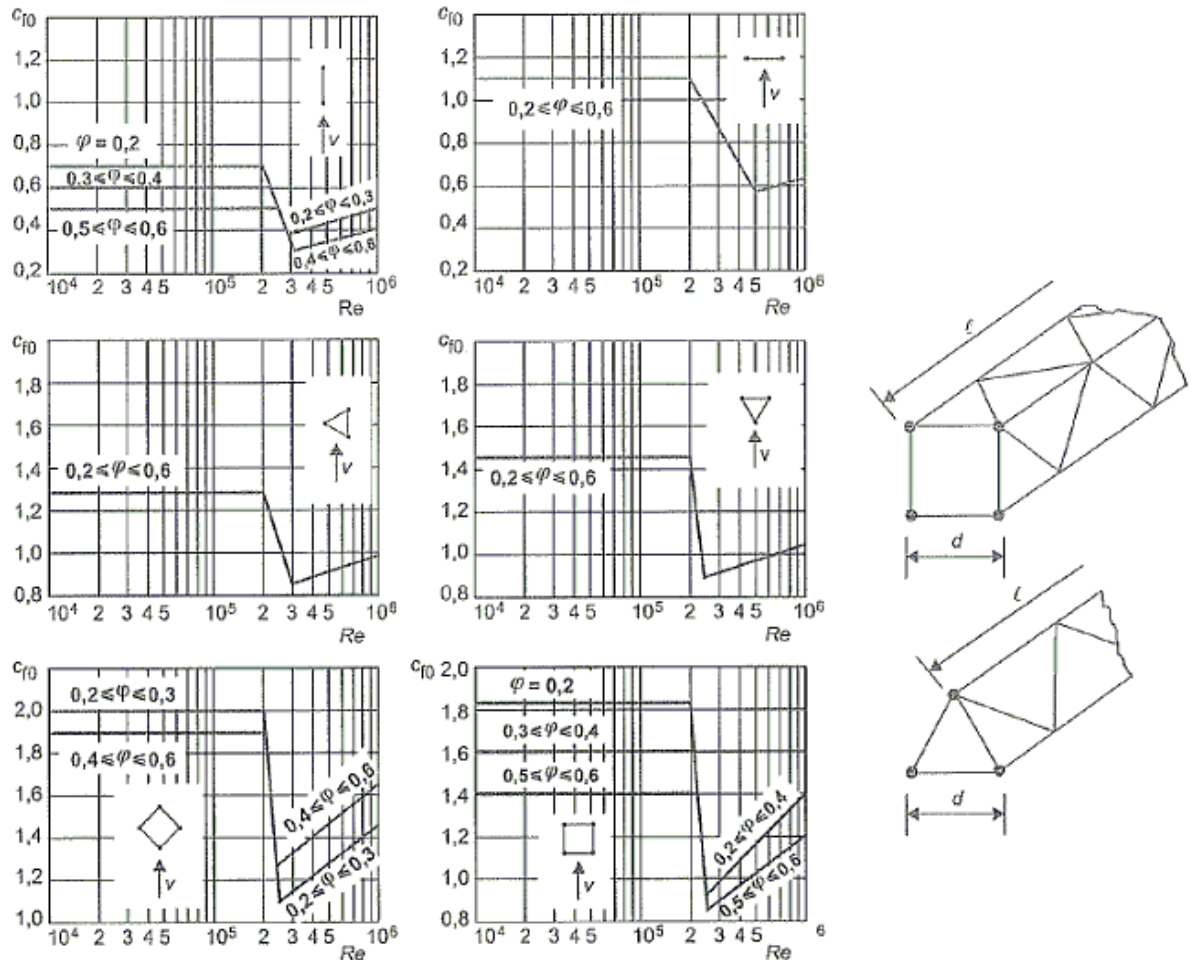


Рисунок 7.35 – Коэффициент усилия c_{f0} для плоских и пространственных решетчатых конструкций из профилей с круглым поперечным сечением

(2) Коэффициент проемности ϕ следует определять по Формуле (7.26)

$$\phi = \frac{A}{A_c}, \quad (7.26)$$

где A – сумма площадей проекций стержней и узловых накладок, проецируемых на рассматриваемую сторону, $A = \sum_i b_i l_i + \sum_k A_{gk}$. В пространственных решетчатых конструкциях следует рассматривать наветренную сторону;

A_c – площадь вертикальной проекции, ограниченной контурами конструкции,
 $A_c = dl$;

L – длина решетчатой конструкции;

D – ширина решетчатой конструкции;

b_i, l_i – проекция ширины и длины отдельного стержня i (см. Рисунок 7.32);

A_{gk} – площадь узловой накладки k .

(3) Базовую площадь A_{ref} следует определять по формуле

$$A_{\text{ref}} = A. \quad (7.27)$$

(4) Базовая высота z_e равна высоте до верхней отметки рассматриваемого сечения.

7.12 Флаги

(1) Коэффициенты усилия c_f и базовая площадь A_{ref} для флагов приведены в Таблице 7.15.

(2) Базовая высота z_e равна высоте до верхней отметки флага над поверхностью земли.

Таблица 7.15 – Коэффициенты усилия c_f для флагов

[illegible]

7.13 Эффективная гибкость λ и коэффициент, учитывающий краевые эффекты ψ_λ

- (1) В необходимых случаях следует определять коэффициент, учитывающий краевые эффекты в зависимости от эффективной гибкости λ .

ПРИМЕЧАНИЕ Коэффициенты усилия $c_{f,0}$ в 7.6-7.12 основываются на исследованиях конструкций без обтекания свободных краев, удаленных от земли (основания). Понижение сопротивления конструкций при обтекании ветра вокруг конца (краевой эффект) описывается коэффициентом краевого эффекта.

Рисунок 7.36 и Таблица 7.16 основываются на измерениях при слабых турбулентных течениях. Значения, учитывающие влияние турбулентности, могут указываться в Национальном Приложении.

- (2) Эффективная гибкость λ зависит от размеров конструктивного элемента и его положения.

ПРИМЕЧАНИЕ Национальное Приложение может устанавливать значения эффективной гибкости λ и ψ_λ . Рекомендуемые значения λ указаны в Таблице 7.16. Ориентировочные значения ψ_λ для различных коэффициентов проемности ϕ приведены на Рисунке 7.36.

Таблица 7.16 – Значения эффективной гибкости λ для цилиндров, многоугольных и прямоугольных поперечных сечений, конструктивных элементов с острыми кромками и решетчатых конструкций

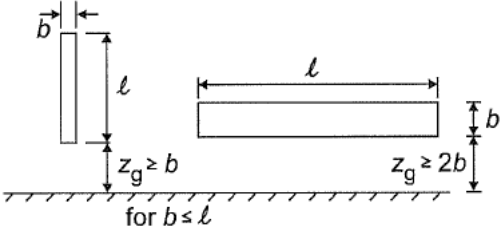
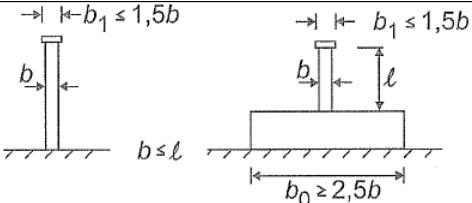
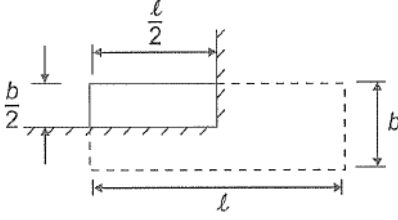
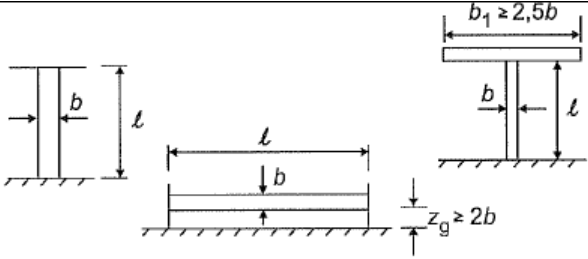
Номер	Положение конструкции при направлении набегающего потока по нормали к плоскости чертежа	Эффективная гибкость λ
1		Для многоугольных, прямоугольных поперечных сечений и поперечных сечений с острыми кромками, а также для решетчатых конструкций: при $l \geq 50$ м, $\lambda = 1,4l/b$ или $\lambda = 70$ определяющим является меньшее значение при $l < 15$ м, $\lambda = 2l/b$ или $\lambda = 70$ определяющим является меньшее значение
2		

Таблица 7.16 (продолжение)

3		Для круговых цилиндров: при $l \geq 50$ м, $\lambda = 0,7l/b$ или $\lambda = 70$ определяющим является меньшее значение при $l < 15$ м, $\lambda = l/b$ или $\lambda = 70$ определяющим является меньшее значение Промежуточные значения принимаются линейной интерполяцией.
4		при $l \geq 50$ м, $\lambda = 0,7l/b$ или $\lambda = 70$ определяющим является большее значение при $l < 15$ м, $\lambda = l/b$ или $\lambda = 70$ определяющим является большее значение. Промежуточные значения принимаются линейной интерполяцией

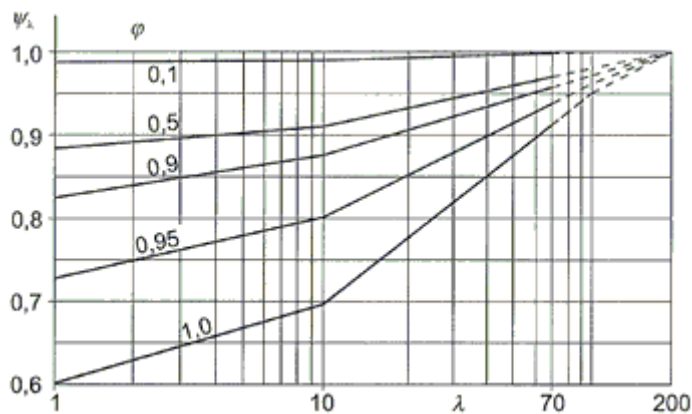


Рисунок 7.36 – Коэффициент ψ_λ в зависимости от эффективной гибкости λ и для разных коэффициентов проемности ϕ

(3) Коэффициент проемности ϕ следует определять следующим образом (см. Рисунок 7.37):

$$\phi = \frac{A}{A_c}, \quad (7.28)$$

где

A – сумма проецируемых площадей отдельных конструктивных элементов;

A_c – площадь ограждения, $A_c = lb$.

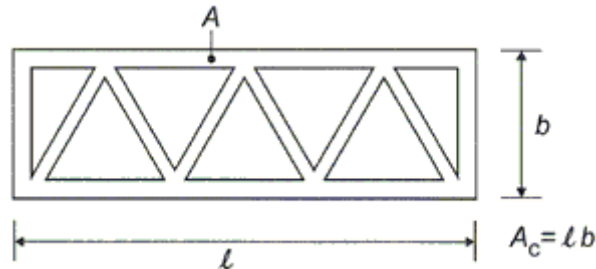


Рисунок 7.37 – Определение коэффициентов проемности ϕ

8 ВЕТРОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МОСТЫ

8.1 Общие положения

(1) Данный раздел распространяется только на однопролетные и многопролетные мосты с постоянными поперечными сечениями, показанными на Рисунке 8.1 и одинарными пролетными конструкциями.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Ветровые воздействия для других типов мостов (например, арочных, вантовых, крытых, разводных мостов и мостов с несколькими или изогнутыми пролетными конструкциями) могут указываться в Национальном Приложении.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Угол уклона направления действия набегающего потока по отношению к пролетной конструкции в вертикальной и горизонтальной плоскости может указываться в Национальном Приложении.

(2) Ветровые нагрузки на пролетные конструкции рассматриваются в 8.2 и 8.3, нагрузки на опоры моста – в 8.4. Ветровые нагрузки на различные элементы моста следует учитывать как действующие одновременно, в случаях неблагоприятного влияния.

(3) Воздействия ветра на конструкции мостов вызывают силы в направлениях x , y и z в соответствии с Рисунком 8.2.

В этом случае:

направление x – в направлении, параллельном направлению транспортных путей, по нормали к пролету;

направление y – в направлении, продольном оси пролета;

направление z – по нормали к направлению транспортных путей.

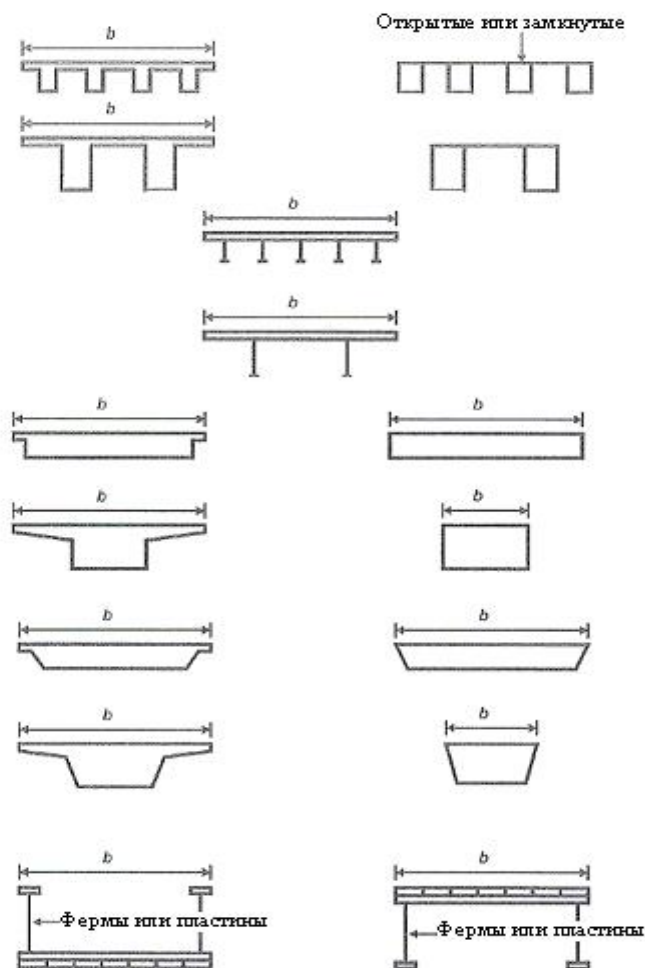


Рисунок 8.1 – Примеры поперечных сечений стандартных пролетных конструкций моста

Силы в направлениях x и y вызываются воздействиями ветра в различных направлениях и обычно не возникают одновременно. Силы в направлении z могут возникать в различных направлениях, их следует учитывать как одновременно действующие с силами других направлений, в случае неблагоприятности их действия.

ПРИМЕЧАНИЕ Система обозначений, применяемая для мостов, отличается от установленной в 1.7. Для конструкций мостов применяют следующие обозначения:

L – длина в направлении y ;

B – ширина в направлении x ;

D – высота в направлении z .

Размеры L , b и d , представленные на Рисунке 8.2, более точно определены в последующих разделах. При ссылках на Разделы 5 – 7 обозначения b и d необходимо соответственно корректировать.

(4) При необходимости одновременного учета воздействия ветра и дорожного движения (см. А.2.2.1 и А.2.2.2 в Приложении А.2 EN 1990) сопутствующее воздействие

$\psi_c F_{wk}$ от ветра и транспортных средств на мост ограничивают значением F'_w , заменяя основное значения базовой скорости $v_{b,0}$ значением $v'_{b,0}$.

ПРИМЕЧАНИЕ Значение $v'_{b,0}$ может устанавливаться в Национальном Приложении. Рекомендуемое значение равно 23 м/с.

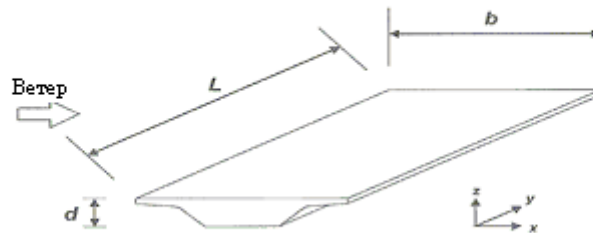


Рисунок 8.2 – Направления воздействий ветра на пролетные конструкции моста

(5) При необходимости одновременного учета воздействия ветра и железнодорожного движения (см. А.2.2.1 и А.2.2.2 в приложении А.2 EN 1990) сопутствующее воздействие $\psi_c F_{wk}$ от ветра и поездов на мост ограничивают значением F''_w , заменяя основное значение исходной скорости $v_{b,0}$ значением $v''_{b,0}$.

ПРИМЕЧАНИЕ Значение $v''_{b,0}$ может устанавливаться в Национальном Приложении. Рекомендуемое значение равно 25 м/с.

8.2 Выбор методов расчета системы

(1) Следует оценить необходимость расчета мостов на динамические воздействия.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Критерии и методы расчета могут указываться в Национальном Приложении.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Если динамический расчет не требуется, можно применять значение $c_s c_d = 1,0$.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Для обычных дорожных и железнодорожных пролетных конструкций моста с шириной пролета менее 40 м учет динамических реакций системы, как правило, не требуется. Под обычными пролетными конструкциями могут пониматься конструкции из стали, бетона, алюминия или дерева, а также комбинированные конструкции, поперечное сечение которых соответствует формам на Рисунке 8.1.

8.3 Коэффициенты усилия

(1) Коэффициенты усилия для парапетов и ограждений мостов необходимо учитывать, если они относятся к порядку величин, которыми нельзя пренебречь.

ПРИМЕЧАНИЕ Коэффициенты усилия для парапетов и ограждений мостов могут указываться в Национальном Приложении. Рекомендуется применять 7.4.

8.3.1 Коэффициенты усилия в направлении x (общий метод)

(1) Коэффициенты усилия воздействий ветра на пролетные конструкции моста в направлении x равны

$$c_{f,x} = c_{fx,0}, \quad (8.1)$$

где $c_{fx,0}$ – аэродинамический коэффициент для конструкций без обтекания свободных концов (см. 7.13).

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Пролетные конструкции мостов, как правило, не содержат свободно обтекаемых элементов, так как при обтекании отклонение вызывается только двумя сторонами (верхней стороной и нижней стороной пролетной конструкции).

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для обычных мостов можно применять $c_{fx,0} = 1,3$. Альтернативно можно применять значение $c_{fx,0}$ из Рисунка 8.3.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Если угол уклона набегающего потока превышает 10° , то могут потребоваться специальные исследования для аэродинамического коэффициента. Такой угол уклона может сводиться к уклону местности с наветренной стороны моста.

ПРИМЕЧАНИЕ 4 Если в одной плоскости находятся две практически идентичные пролетные конструкции и они разделены только в продольном направлении зазором менее 1 м, то силу ветра с наветренной стороны можно рассчитывать как для составной конструкции. В других случаях целесообразны специальные исследования, касающиеся взаимодействия между конструкциями моста.

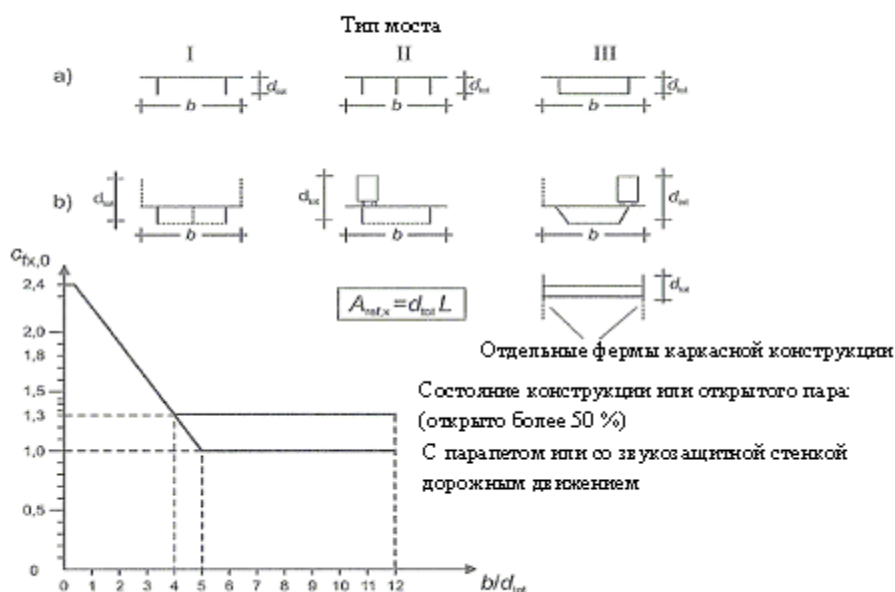


Рисунок 8.3 – Коэффициенты усилия $c_{fx,0}$ для мостов

- (3) Если поверхность воздействия ветра по рисунку 8.4 имеет уклон к вертикали, то коэффициент усилия $c_{fx,0}$ уменьшают относительно вертикали на 0,5 % на каждый градус угла наклона α , но не более чем на 30 %.

ПРИМЕЧАНИЕ Это снижение не применимо к величине F_w , как определено в 8.3.2, за исключением случаев, когда Национальным Приложением установлены специальные правила.

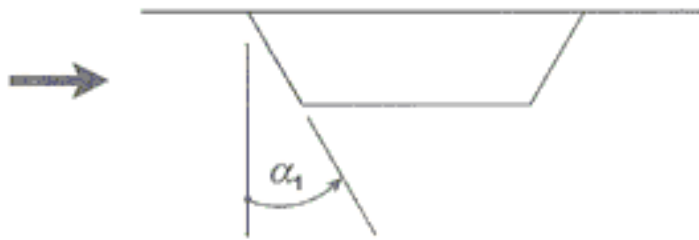


Рисунок 8.4 – Мосты с наклонной поверхностью в направлении действия ветра

- (3) Если мост имеет уклон в поперечном направлении, то $c_{fx,0}$ увеличивают на 3 % на каждый градус уклона, но не более чем на 25 %.

(4) Для базовой площади A_{ref} для сочетаний нагрузок без транспортной составляющей применяют:

а) для пролетной конструкции в виде плоской балочной системы (см. Рисунок 8.5 и Таблицу 8.1) – сумму:

- 1) видимой площади лицевой стороны главной балки;
- 2) видимой площади выступающих над ней элементов других главных балок;
- 3) видимой площади элементов карнизов, пешеходных дорожек или балластных путей, выступающей над лицевой стороной главной балки;
- 4) видимой площади сплошных ограждений или шумозащитных стен, которые выступают над зоной 3), или, при отсутствии таких элементов, 0,3 м для каждого открытого парапета или ограждения;

б) для пролетной конструкции в виде решетчатой фермы – сумму:

- 1) видимой площади элементов карнизов, пешеходных дорожек или балластных путей;
- 2) сплошных элементов решетчатой конструкции, расположенных по нормали к направлению обтекания и выступающих над или под зоной 1);
- 3) видимой площади сплошных ограждений или шумозащитных стен, которые выступают над зоной 1), или, при отсутствии таких элементов, 0,3 м для каждого открытого парапета или ограждения.

Однако суммарная базовая площадь не должна превышать площадь рассматриваемой плоской балочной системы с такой же высотой и со всеми перечисленными выше зонами;

с) для пролетной конструкции в виде нескольких плоских балочных систем для этапа производства строительных работ до монтажа дорожного покрытия применяют видимую поверхность двух главных балок.

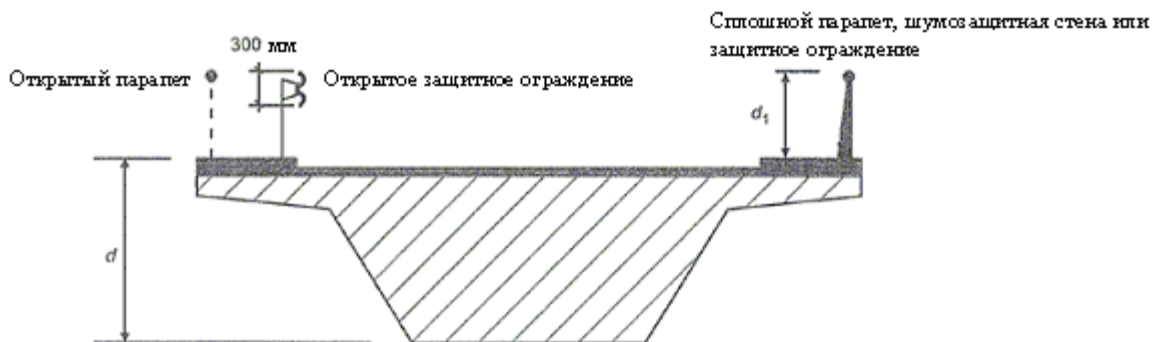


Рисунок 8.5 – Применяемые высоты поперечного сечения для $A_{ref,x}$

Таблица 8.1 – Применяемые высоты поперечного сечения для $A_{ref,x}$

Защитная система проезжей части	С одной стороны	С обеих сторон
Открытый парапет или открытое защитное ограждение	$d + 0,3 \text{ м}$	$d + 0,6 \text{ м}$
Закрытый парапет или закрытое защитное ограждение	$d + d_1$	$d + 2d_1$
Открытый парапет и открытое защитное ограждение	$d + 0,6 \text{ м}$	$d + 1,2 \text{ м}$

(5) Базовую площадь $A_{ref,x}$, при учете сочетания нагрузок дорожного движения, рассчитывают как базовую площадь в (4), применяя вместо площадей, указанных в а) 3) и 4) и б) 3), следующие площади, если они превышают первоначальные:

а) для автодорожных мостов дорожное полотно высотой 2 м над проезжей частью при самой неблагоприятной длине независимо от положения воспринимаемой вертикальной транспортной нагрузки;

б) для железнодорожных мостов дорожное полотно высотой 4 м над рельсами по всей длине моста.

(6) За базовую высоту z_e принимают расстояние от самой низкой точки местности под мостом до середины пролетной конструкции моста. Другие элементы моста (например, парапеты) не учитывают.

(7) Воздействия от давления вследствие движения транспортных средств не входят в область применения настоящего стандарта. Воздействия от давления вследствие движения поездов см. в EN 1991-2.

8.3.2 Усилия в направлении x – упрощенный метод

(1) В случаях, когда динамический расчет реакции конструкции моста не требуется, силу ветра в направлении x рассчитывают по следующей формуле

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho v_b^2 C A_{\text{ref},x}, \quad (8.2)$$

где

v_b – базовое значение скорости ветра (см. 4.2 (2));

C – коэффициент ветровой нагрузки, где $C = c_e c_{f,x}$, c_e – коэффициент экспозиции по 4.5, а $c_{f,x}$ – по 8.3.1(1);

$A_{\text{ref},x}$ – базовая площадь по 8.3.1;

ρ – плотность воздуха (см. 4.5).

ПРИМЕЧАНИЕ Значения C могут устанавливаться в Национальном Приложении. Рекомендуемые значения указаны в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Коэффициенты усилия C для мостов.

b/d_{tot}	$z_e \leq 20$ м	$z_e = 50$ м
$\leq 0,5$	5,7	7,1
$\geq 4,0$	3,1	3,8
ПРИМЕЧАНИЕ Значения, приведенные в данной таблице, основаны на следующих допущениях: – тип местности II в соответствии с таблицей 4.1; – коэффициент усилия $c_{f,x}$ в соответствии с 8.3.1(1); – $c_o = 1,0$; – $k_i = 1,0$. Промежуточные значения b/d_{tot} и z_e допускается определять линейной интерполяцией.		

8.3.3 Ветровые усилия на пролетные конструкции моста в направлении z

(1) Коэффициенты усилий $c_{f,z}$ ветра в направлении z устанавливают как направленные вверх, так и вниз (коэффициент подъемной силы). Значение $c_{f,z}$ нельзя применять для расчета вертикальных колебаний пролетных конструкций.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Значение $c_{f,z}$ может указываться в Национальном Приложении. Если не проводятся исследования с использованием аэродинамической трубы, то рекомендуется применять значение $c_{f,z} = \pm 0,9$. Это значение учитывает возможный поперечный уклон пролетной конструкции, возможный уклон местности и влияние угла уклона набегающего потока на основании турбулентности.

Альтернативно $c_{f,z}$ можно применять по рисунку 8.6. При этом необходимо учитывать следующее:

– высота d_{tot} должна ограничиваться высотой пролетной конструкции, при этом дорожное движение и оснастку моста можно не учитывать;

– для плоской горизонтальной местности в качестве угла уклона набегающего потока относительно горизонтали применяют угол $\alpha \pm 5^\circ$ как следствие турбулентности набегающего потока. Данное условие распространяется также на холмистую местность, если высота пролетной конструкции не менее 30 м над уровнем земли.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Вертикальная сила имеет значение только в случае, когда она относится к величине такого же порядка, что и нагрузка от собственного веса.

(2) Базовая площадь $A_{ref,z}$ соответствует площади вертикальной проекции (см. Рисунок 8.2):

$$A_{ref,z} = bL. \quad (8.3)$$

(3) Влияние гибкости не учитывают.

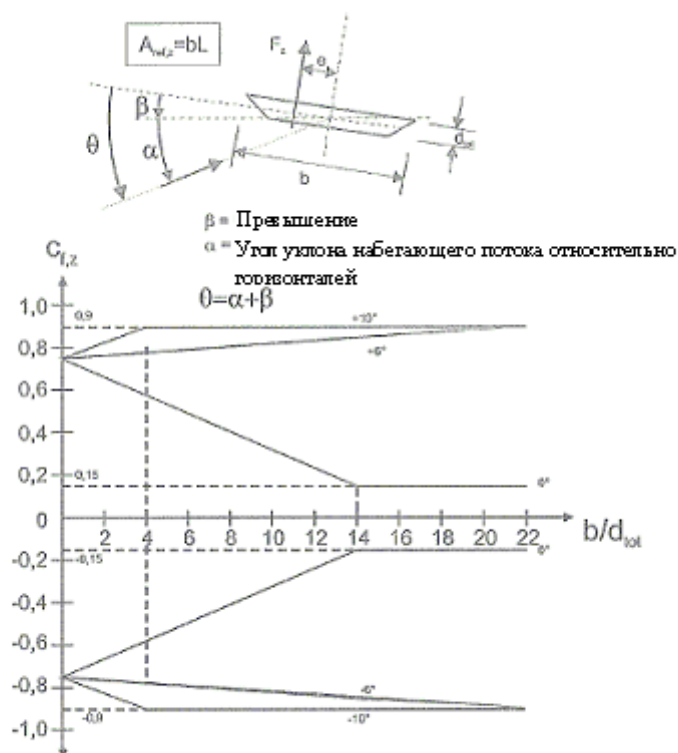


Рисунок 8.6 – Коэффициенты усилия для мостов с поперечным уклоном и угловым направлением набегающего потока

- (4) Базовая высота такая же, как при определении $c_{f,x}$ (см. 8.3.1(6)).
- (5) В качестве эксцентриситета силы в направлении x применяют $e = b/4$.

8.3.4 Ветровые нагрузки на пролетные конструкции моста в направлении y

- (1) При необходимости определяют также продольные силы ветра в направлении y .

ПРИМЕЧАНИЕ Значения силы ветра могут устанавливаться в Национальном Приложении. Рекомендуемыми значениями являются:

- для мостов со сплошными стенами – 25 % силы ветра в направлении x ;
- для мостов решетчатой конструкции – 50 % силы ветра в направлении x .

8.4 Опоры моста

8.4.1 Направления ветра и расчетные ситуации

(1) Воздействия ветра на пролетные конструкции моста и на несущие опоры рассчитывают с учетом наиболее неблагоприятного для всей конструкции направления ветра.

(2) Для этапа производства строительных работ воздействия ветра определяют специально, если невозможна горизонтальная передача или перераспределение силы ветра через пролетные конструкции. Если на этапе производства строительных работ опоры воспринимают нагрузки от выступающих элементов пролетных конструкций или элементов опалубки, то необходимо учитывать возможное асимметричное ветровое воздействие на такие элементы.

ПРИМЕЧАНИЕ Этапы производства строительных работ обычно более критичны для опор моста и некоторых типов пролетных конструкций, чем для постоянных расчетных ситуаций, возникающих после завершения строительных работ. Нормативные значения для временных расчетных ситуаций на этапе производства строительных работ указаны в EN 1991-1-6. Влияние лесов см. в 7.11.

8.4.2 Ветровые воздействия на опоры моста

(1) Воздействия ветра на опоры моста определяют методом, установленным в настоящем стандарте. При расчете результирующей нагрузки необходимо учитывать условия 7.6, 7.8 или 7.9.2.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Упрощенные правила могут устанавливаться в Национальном Приложении.

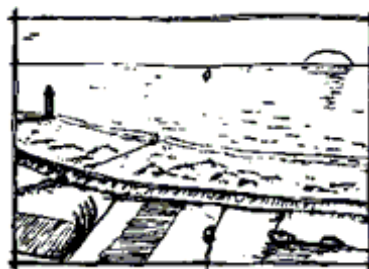
Приложение А
(информационное)

Влияние шероховатости местности и орографии

А.1 Графическое представление максимальных шероховатостей различных типов местности

Тип местности 0

Моря или открытые побережья морей



Тип местности I

Озера или плоская местность с незначительной растительностью без преград



Тип местности II

Открытая местность с низкой, как трава, растительностью и изолированными отдельно стоящими преградами (деревьями, зданиями), расстояние между которыми не менее 20-кратного значения их высот



Тип местности III

Местность с равномерной растительностью или зданиями или преградами, расстояние между которыми не превышает 20-кратного значения их высот (деревни, пригородные зоны, протяженные лесные массивы)



А.2 Переходы между типами местности 0, I, II, III и IV

(1) Переходы между зонами с различной шероховатостью учитывают при расчете q_p и $C_s C_d$.

ПРИМЕЧАНИЕ Методы устанавливают в Национальном Приложении. Ниже приведены два рекомендуемых метода.

Первый метод:

Если здание находится вблизи места изменения шероховатости местности на расстоянии:

- менее 2 км от типа местности 0;
- менее 1 км от типа местности I – III,

то применяют меньшую шероховатость местности в направлении наветренной стороны.

Небольшие зоны (площадью менее 10 % от учитываемых в других случаях) с шероховатостью, отличающейся от основной поверхности, можно не учитывать.

Второй метод:

а) определить шероховатости местности в направлении наветренной стороны в секторах обтекания, которые необходимо учитывать;

б) определить расстояние x между зданием и местом изменения шероховатости в каждом секторе;

в) если расстояние x между зданием и зоной смены неровности меньше значения, указанного в Таблице А.1, то для неровности в рассматриваемом секторе применяют меньшее значение. Если расстояние x больше значения, указанного в Таблице А.1, то для неровности применяют большее значение.

Небольшие зоны (площадью менее 10 % от учитываемых в других случаях) с шероховатостью, отличающейся от основной поверхности, можно не учитывать.

Если в Таблице А.1 не указано расстояние x или если высота здания превышает 50 м, то применяют меньшую шероховатость.

Для промежуточных значений высоты z допускается линейная интерполяция.

Здание, расположенное в определенном типе местности можно рассчитывать с применением меньшей шероховатости местности, если оно находится на расстоянии, не превышающем пределов, определенных в Таблице А.1.

Таблица А.1 – Расстояние x

Высота z , м	Между I и II зоной, км	Между I и III зоной, км	Между II и III зоной, км	Между II и IV зоной, км	Между III и IV зоной, км
5	0,50	5,00	0,30	2,00	0,20
7	1,00	10,00	0,50	3,50	0,35
10	2,00	20,00	1,00	7,00	0,70
15	5,00		3,00	20,00	2,00
20	12,00		7,00		4,50
30	20,00		10,00		7,00
50	50,00		30,00		20,00

А.3 Численный расчет орографических коэффициентов

(1) На изолированных возвышенностях (холмах), горных хребтах или скалах и склонах возникают разные скорости ветра из-за уклона местности $\Phi = H/L_u$ в направлении набегающего потока. В этом случае H обозначает высоту, а L_u – фактическую длину, как представлено на Рисунке А.1.

(2) Наибольшее возрастание скорости ветра происходит у вершины склона и описывается орографическим коэффициентом c_o (см. Рисунок А.1). Склон не оказывает существенного влияния на стандартное отклонение турбулентности, как описано в 4.4(1).

ПРИМЕЧАНИЕ Интенсивность турбулентности снижается с увеличением скорости ветра, стандартное отклонение, напротив, не меняется.

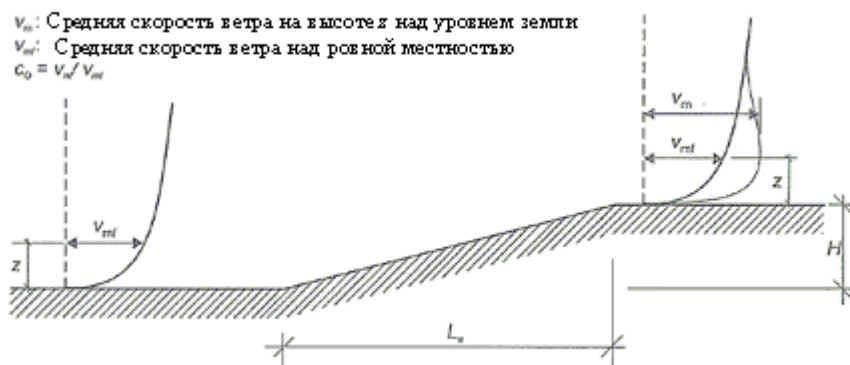


Рисунок А.1 – Пример увеличения скорости ветра на склоне

(3) Орографический коэффициент $c_o(z) = v_m/v_{mf}$ описывает возрастание средней скорости ветра для изолированных гор или склонов (не для холмистой местности или горных районов). Он относится к скорости ветра у подножия горы или склона. Влияние орографии необходимо учитывать в следующих ситуациях:

- для мест с наветренными склонами холмов или горных хребтов:
 - если $0,05 < \Phi \leq 0,3$ и $|x| \leq L_u/2$;
- для мест с подветренными склонами холмов или горных хребтов:
 - если $\Phi < 0,3$ и $|x| < L_d/2$;
 - если $\Phi \geq 0,3$ и $|x| < 1,6H$;
- для мест с наветренными склонами скал или крутыми склонами:
 - если $0,05 < \Phi \leq 0,3$ и $|x| \leq L_u/2$;
- для мест с подветренными склонами скал или крутыми склонами:
 - если $\Phi < 0,3$ и $|x| < 1,5L_e$;
 - если $\Phi \geq 0,3$ и $|x| < 5H$;

c_o определен следующим образом:

$$c_o = 1 \text{ для } \Phi < 0,5; \quad (\text{A.1})$$

$$c_o = 1 + 2s\Phi \quad \text{для } 0,05 < \Phi < 0,3; \quad (\text{A.2})$$

$$c_o = 1 + 0,6s \quad \text{для } \Phi > 0,3, \quad (\text{A.3})$$

где s – локальный орографический коэффициент по Рисунку А.2 или А.3 относительно эффективной длины L_e проекции подветренной стороны;

Φ – уклон по нормали к направлению действия ветра (см. Рисунки А.2 и А.3);

L_e – эффективная длина проекции наветренной стороны по Таблице А.2;

L_u – фактическая длина проекции наветренной стороны (проекция на горизонталь);

L_d – фактическая длина проекции подветренной стороны;

H – эффективная высота перепада высот местности;

X – горизонтальное расстояние между рассматриваемой и наивысшей точкой местности;

Z – вертикальное расстояние между рассматриваемой и наивысшей точкой местности.

Таблица А.2 – Значения эффективной длины L_e

Тип склона ($\Phi = H/L_u$)	
Плоский ($0,05 < \Phi \leq 0,3$)	Крутой ($\Phi > 0,3$)
$L_e = L_u$	$L_e = H/0,3$

ПРИМЕЧАНИЕ Расчетные диаграммы на рисунках А.2 и А.3 превышают определенные выше диапазоны применения. Учет влияния орографии вне этого диапазона является необязательным.

(4) В долинах допускается устанавливать коэффициент $s_o(z)$, равный 1,0, если можно исключить ускорения, вызванные эффектом диффузирования. Для расположенных в долинах сооружений или для мостов, перекрывающих такие долины, следует проверить необходимость учета повышения скорости ветра.

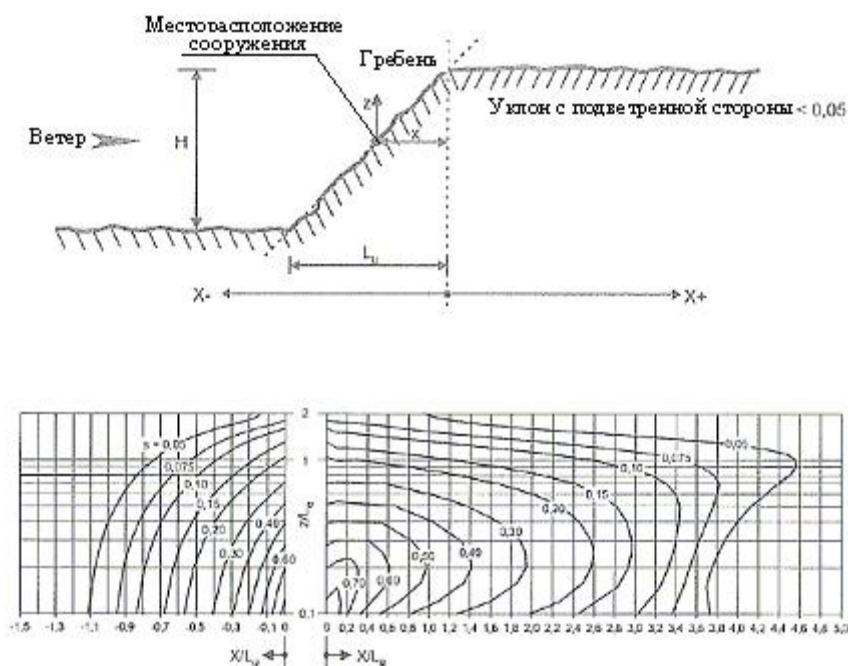
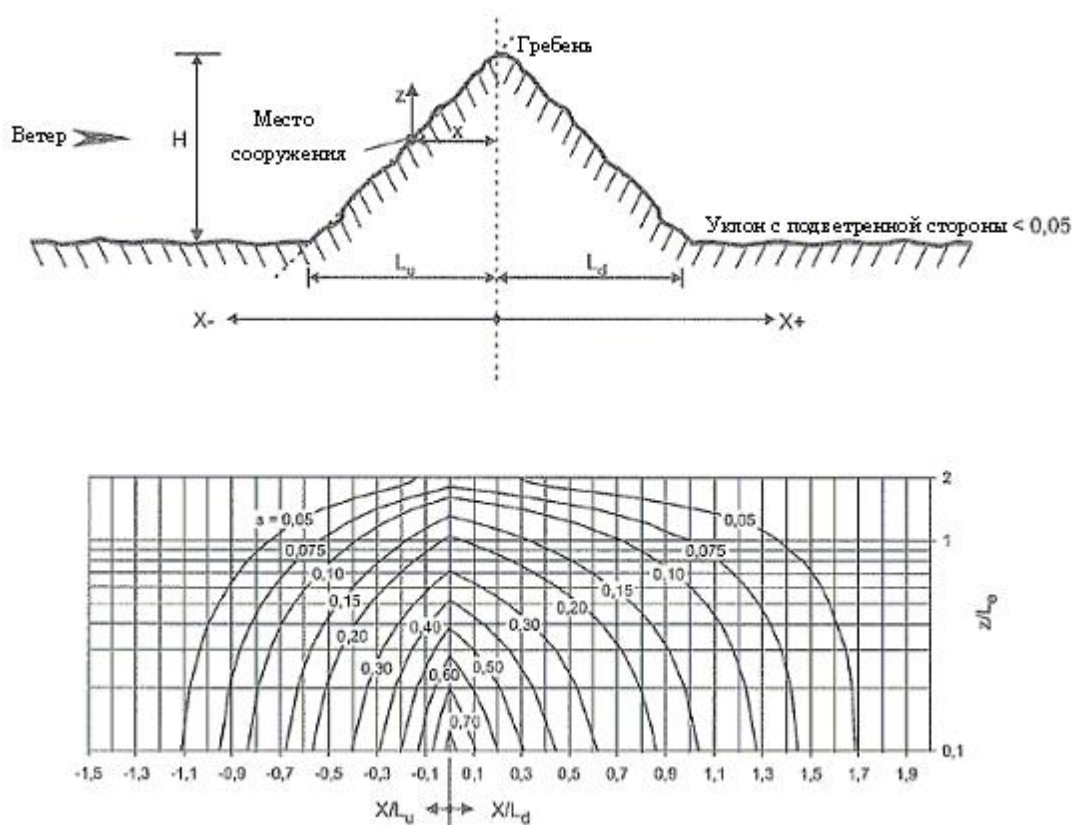


Рисунок А.2 – Коэффициент s для склонов скал или крутых склонов

(5) Формулы (А.4) – (А.7) и (А.11) могут применяться для расчетов орографического коэффициента. Так как эти формулы получены эмпирическим путем, то чрезвычайно важно, чтобы используемые параметры находились в заданных пределах, так как в противном случае следствием являются ошибочные результаты.

Рисунок А.3 – Коэффициент s для гор или горных хребтов**а) Наветренная зона при любой орографии (см. рисунки А.2 и А.3)**

В зонах

$$-1,5 \leq \frac{X}{L_u} \leq 0 \text{ и } 0 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$$

применяют:

$$s = A e^{\left(B \frac{X}{L_u} \right)}, \quad (\text{A.4})$$

где

$$A = 0,1552 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^2 - 1,9115 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right) + 1,0124; \quad (\text{A.5})$$

$$B = 0,3542 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^2 - 1,0577 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right) + 2,6456. \quad (\text{A.6})$$

Для $\frac{X}{L_u} < -1,5$ или $\frac{z}{L_e} > 2$ применяют $s = 0$.

б) подветренная зона склонов скал или крутых склонов (см. Рисунок А.2):

В зонах

$$-0,1 \leq \frac{X}{L_u} \leq 3,5 \text{ и } 0,1 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$$

применяют:

$$s = A \cdot \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right)^2 + B \cdot \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right) + C, \quad (\text{A.7})$$

где

$$A = -1,3420 \cdot \left(\log \left[\frac{Z}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8222 \cdot \left(\left[\frac{Z}{L_e} \right] \right)^2 + 0,4609 \cdot \log \left[\frac{Z}{L_e} \right] - 0,0791; \quad (\text{A.8})$$

$$B = -1,0196 \cdot \left(\log \left[\frac{Z}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8910 \cdot \left(\log \left[\frac{Z}{L_e} \right] \right)^2 + 0,5343 \cdot \log \left[\frac{Z}{L_e} \right] - 0,1156; \quad (\text{A.9})$$

$$C = 0,8030 \cdot \left(\log \left[\frac{Z}{L_e} \right] \right)^3 + 0,4236 \cdot \left(\log \left[\frac{Z}{L_e} \right] \right)^2 - 0,5738 \cdot \log \left[\frac{Z}{L_e} \right] + 0,1606. \quad (\text{A.10})$$

В зонах $0 \leq \frac{X}{L_e} \leq 0,1$ проводят интерполяцию между значениями для $\frac{X}{L_e} = 0$

$$(s = \text{Ав формуле (А.5)}) \text{ и } \frac{X}{L_e} = 0,1.$$

При $\frac{Z}{L_e} < 0,1$ применяют значения $\frac{Z}{L_e} = 0,1$.

При $\frac{Z}{L_e} < 3,5$ или $\frac{Z}{L_e} > 2,0$ применяют $s = 0$.

с) Подветренная зона холмов или горных хребтов (см. Рисунок А.3)

В зонах

$$0 \leq \frac{X}{L_d} \leq 2,0 \text{ и } 0 \leq \frac{Z}{L_e} \leq 2,0$$

применяют:

$$s = A e^{\left(B \frac{X}{L_d} \right)}, \quad (\text{A.11})$$

$$\text{где } A = 0,1552 \cdot \left(\frac{Z}{L_e} \right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{Z}{L_e} \right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{Z}{L_e} \right)^2 - 1,9115 \cdot \left(\frac{Z}{L_e} \right) + 1,0124; \quad (\text{A.12})$$

$$B = 0,3056 \cdot \left(\frac{Z}{L_e} \right)^2 - 1,0212 \cdot \left(\frac{Z}{L_e} \right) - 1,7637. \quad (\text{A.13})$$

Для $\frac{X}{L_d} > 2,0$ или $\frac{Z}{L_e} > 2,0$ применяют $s = 0$.

ПРИМЕЧАНИЕ Формулы (А.5) и (А.12) идентичны.

А.4 Влияние более высокого близлежащего здания

(1) Если здание более чем вдвое выше средней высоты h_{ave} близлежащего здания, то в первом приближении расчет данного близлежащего здания может проводиться с

применением пикового значения скоростного напора на высоте z_n ($z_0 = z_n$) над уровнем земли (Формула А.14), см. Рисунок А.4.

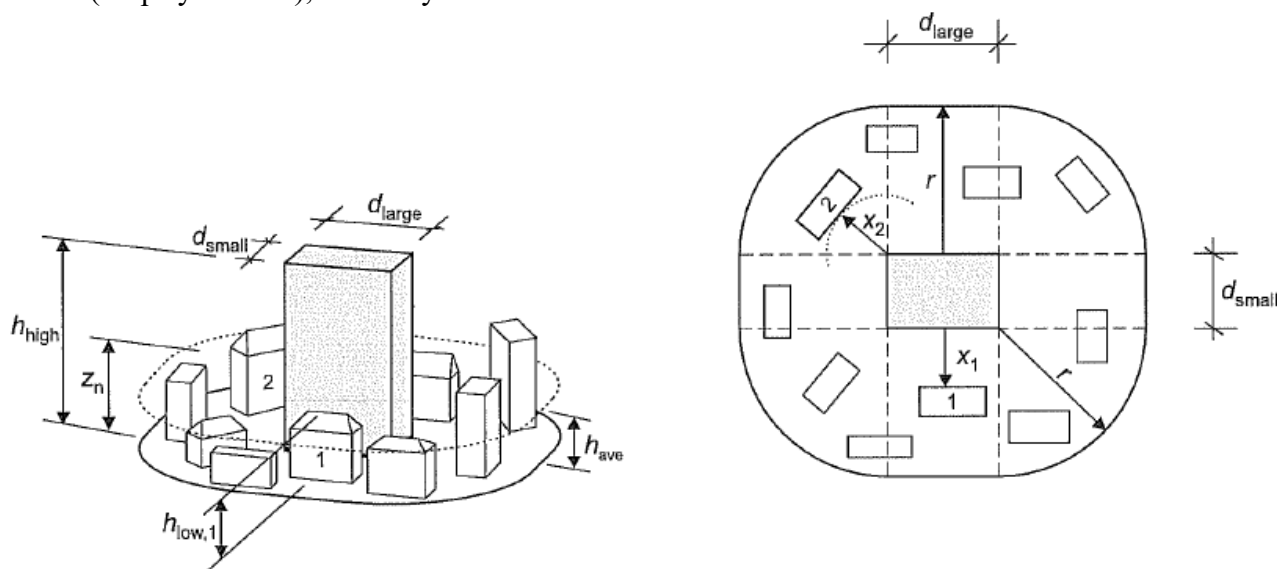


Рисунок А.4 – Влияние высокого здания на два разных соседних здания (1 и 2)

$$\begin{aligned}
 x &\leq r / z_n = \frac{1}{2} \cdot r, \\
 r < x < 2r / z_n &= \frac{1}{2} \cdot \left(r - \left(1 - \frac{2h_{\text{low}}}{r} \right) \cdot (x - r) \right), \\
 x &\geq 2r / z_n = h_{\text{low}}.
 \end{aligned}
 \tag{A.14}$$

Радиус r определяют следующим образом:

$r = h_{\text{high}}$, если $h_{\text{high}} \leq 2d_{\text{large}}$;

$r = 2d_{\text{large}}$, если $h_{\text{high}} > 2d_{\text{large}}$.

Высота здания h_{low} , радиус r , расстояние x и размеры d_{small} и d_{large} представлены на Рисунке А.4. Повышение скорости ветра можно не учитывать, если h_{low} превышает половину высоты h_{high} более высокого здания. Базовая высота в этом случае равна $z_n = h_{\text{low}}$.

А.5 Высота смещения

(1) При расположении зданий на типе местности IV близлежащие здания и другие преграды вызывают смещение профиля ветра вверх. Эта высота смещения обозначается h_{dis} и может определяться по Формуле (А.15), см. Рисунок А.5. Профиль скоростного напора как функцию высоты (см. рисунок 4.2) допускается смещать вверх на величину высоты смещения h_{dis} .

$x \leq 2h_{\text{ave}}h_{\text{dis}}$ – меньшее значение из $0,8h_{\text{ave}}$ или $0,6h$;

$2h_{\text{ave}} < x < 6h_{\text{ave}}h_{\text{dis}}$ – меньшее значение из $1,2h_{\text{ave}} - 0,2x$ или $0,6h$; (А.15)

$x \geq 6h_{\text{ave}}h_{\text{dis}}$ = 0.

При отсутствии более подробной информации для типа местности IV для средней высоты преград допускается применять значение $h_{\text{ave}} = 15$.

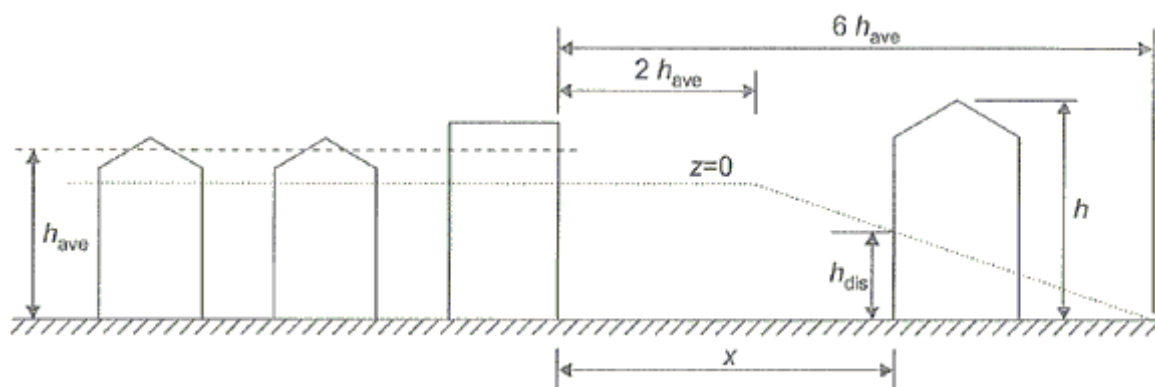


Рисунок А.5 – Высота смещения и расстояние с наветренной стороны

Приложение В (информационное)

Первый метод расчета для определения конструкционного коэффициента $c_s c_d$

В.1 Турбулентность ветра

(1) Масштаб длины турбулентности $L(z)$ представляет среднюю величину порывов естественного ветра. Для высоты z ниже 200 м масштаб длины турбулентности рассчитывают по Формуле (В.1)

$$L(z) = L_t \cdot \left(\frac{z}{z_t} \right)^\alpha \quad \text{при } z \geq z_{\min}, \quad (\text{В.1})$$

$$L(z) = L(z_{\min}) \quad \text{при } z < z_{\min},$$

принимая базовую высоту $z_t = 200$ м, базовый масштаб длины $L_t = 300$ м, $\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$ и параметр шероховатости z_0 , м. Минимальная высота $z_{\min}$ указана в Таблице 4.1.

(2) Распределение воздушного потока в диапазоне частот определяется безразмерной функцией спектральной плотности силы ветра $S_L(z, n)$. Расчет осуществляется по Формуле (В.2)

$$S_L(z, n) = \frac{n \cdot S_v(z, n)}{\sigma_v^2} = \frac{6,8 \cdot f_L(z, n)}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z, n))^{5/3}}, \quad (\text{В.2})$$

где

$S_v(z, n)$ – односторонний дисперсный спектр ветра;

$f_L(z, n) = \frac{n \cdot L(z)}{v_m(z)}$ – безразмерная частота, определяемая по $n = n_{1,x}$, собственной частоте

изгибных колебаний сооружения, Гц, средней скорости ветра $v_m(z)$ и масштабу длины турбулентности $L(z)$, как представлено на Рисунке (В.1). Функция безразмерной спектральной плотности силы ветра представлена на Рисунке В.1.

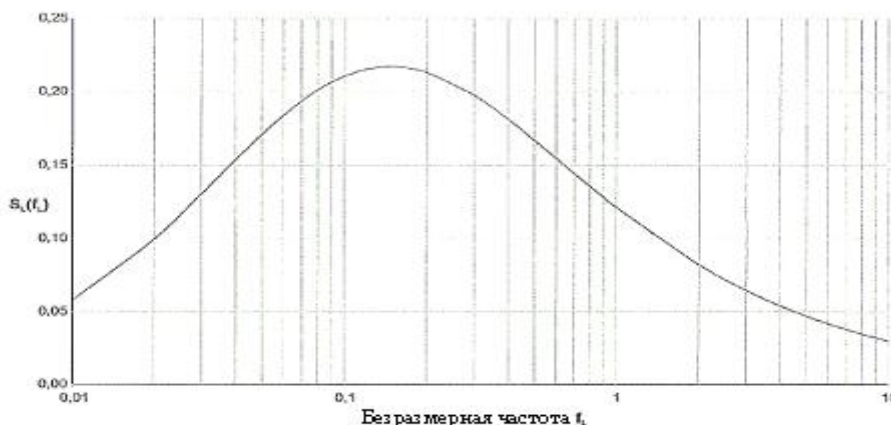


Рисунок В.1 – Функция спектральной плотности $S_L(f_L)$

В.2 Конструкционный коэффициент $c_s c_d$

(1) Конструкционный коэффициент $c_s c_d$ определен в 6.3.1.

(2) Фоновая составляющая реакции B^2 учитывает отсутствие полной корреляции давления на поверхность конструкции и может рассчитываться по Формуле (В.3)

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}}, \quad (\text{В.3})$$

где

b, h – ширина и высота сооружения, см. рисунок 6.1.

$L(z_s)$ – масштаб длины турбулентности в соответствии с В.1(1) для базовой высоты z_s , как определено на Рисунке 6.1. С целью безопасности может применяться

$$B^2 = 1.$$

(3) Пиковый коэффициент k_p определен как отношение максимального значения пульсационной составляющей реакции сооружения к его стандартному отклонению. Он рассчитывается по Формуле (В.4) и представлен на Рисунке В.2.

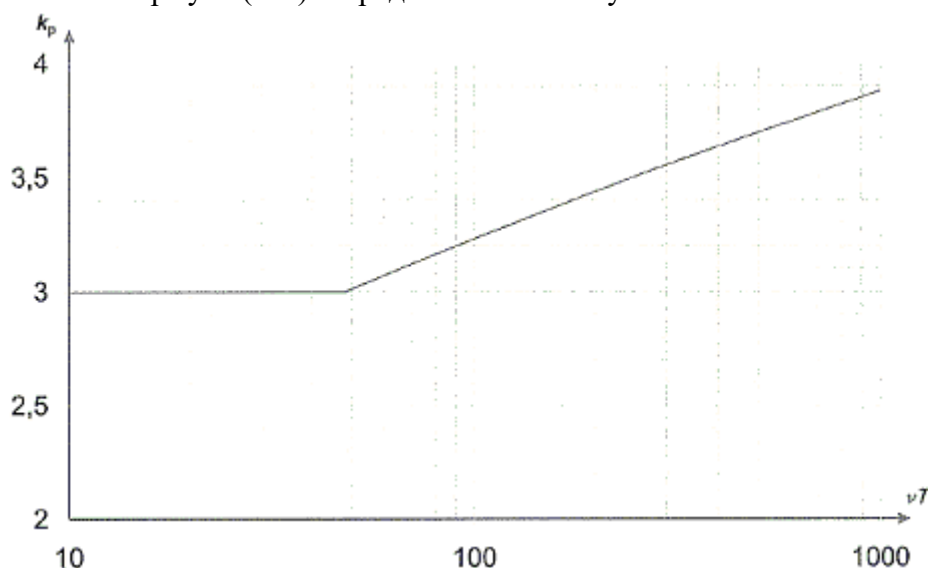


Рисунок В.2 – Пиковый коэффициент

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} \text{ или } k_p = 3, \quad (\text{В.4})$$

определяющим является большее значение,

где

v – частота восходящего потока согласно (4);

T – период осреднения для средней скорости ветра, $T = 600$ с.

(4) Частоту восходящего потока v определяют по Формуле (В.5)

$$v = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}}; v \geq 0,08 \text{ Гц}, \quad (\text{B.5})$$

где $n_{1,x}$ – собственная частота изгибных колебаний сооружения, которую можно определять согласно приложению F. Ограничение $v \geq 0,08$ Гц соответствует пиковому коэффициенту 3,0.

(5) Резонансная составляющая реакции R^2 определяет резонансные колебания с учетом формы колебаний вследствие турбулентности и определяется по Формуле (B.6)

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b), \quad (\text{B.6})$$

где

δ – логарифмический декремент затухания согласно F.5 (приложение F);

S_L – безразмерная функция спектральной плотности, как указано в B.1(2) (Приложение B);

R_h, R_b – функции аэродинамической проводимости, определяемые по Формулам (B.7) и (B.8).

(6) Функции аэродинамической проводимости R_h и R_b для формы основных изгибных колебаний могут рассчитываться по Формулам (B.7) и (B.8):

$$R_p = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} \cdot (1 - e^{-2\eta_h}); \quad R_h = 1 \quad \text{для} \quad \eta_h = 0; \quad (\text{B.7})$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2\eta_b}); \quad R_b = 1 \quad \text{для} \quad \eta_b = 0. \quad (\text{B.8})$$

С применением $\eta_h = \frac{4,6h}{L(z_0)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$ и $\eta_b = \frac{4,6b}{L(z_0)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$.

ПРИМЕЧАНИЕ Для форм колебаний с дополнительными узлами колебаний требуются более точные исследования.

В.3 Количество циклов загрузений для динамической реакции

(1) На Рисунке В.3 показано количество N_g , при котором величина воздействия ветра ΔS достигается или превышает в течение 50 лет. ΔS – доля значения S_k в процентах, при этом S_k является определяющим ветровым воздействием, определенным с периодом повторяемости 50 лет.

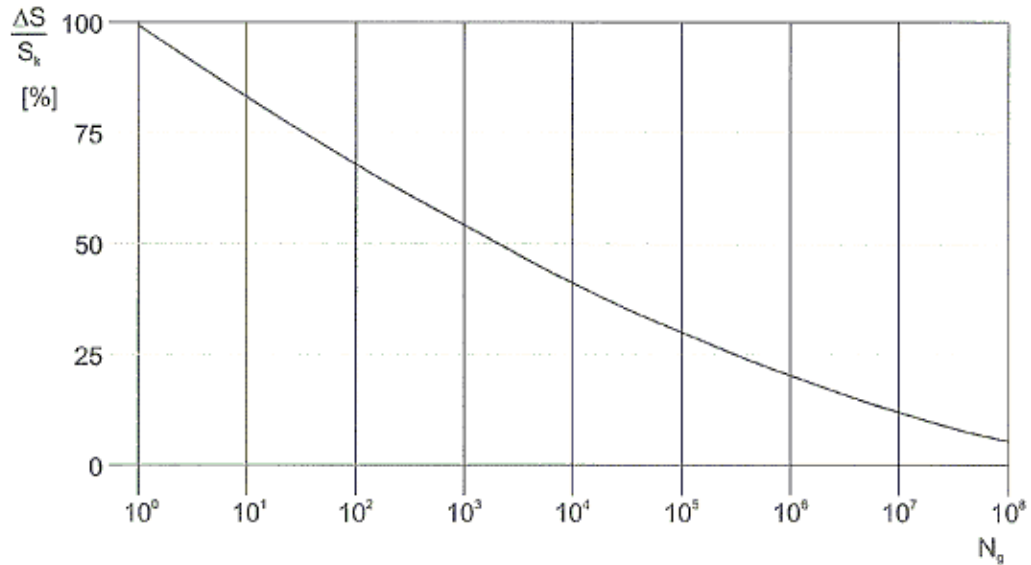


Рисунок В.3 – Количество циклов нагружений N_g при воздействии $\Delta S/S_k$ в течение 50 лет

Зависимость между $\Delta S/S_k$ и N_g указана в Формуле (В.9).

$$\frac{\Delta S}{S_k} = 0,7 \cdot (\log(N_g))^2 - 17,4 \cdot \log(N_g) + 100. \quad (\text{В.9})$$

В.4 Перемещения и ускорения для оценки эксплуатационной пригодности вертикальных конструкций

(1) Максимальное перемещение вдоль направления ветра устанавливают по эквивалентному статическому ветровому усилию, определяемому в соответствии с требованиями 5.3.

(2) Стандартное отклонение $\sigma_{a,x}$ характеристического ускорения конструкции по направлению ветра на высоте z определяется по Формуле (В.10)

$$\sigma_{a,x}(z) = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot I_v(z_s) \cdot v_m^2(z_s)}{m_{1,x}} \cdot R \cdot K_x \cdot \Phi_{1,x}(z),$$

(В.10)

где

c_f – коэффициент усилия, см. Раздел 7;

ρ – плотность воздуха, см. 4.5(1);

B – ширина здания, как определено на Рисунке 6.1;

$I_v(z_s)$ – интенсивность турбулентности $I_v(z_s)$ в направлении действия ветра на высоте $z = z_s$ по 4.4 и Рисунку 6.1;

$v_m(z_s)$ – средняя скорость ветра $v_m(z)$ для $z = z_s$, см. 4.3.1(1);

z_s – базовая высота, см. Рисунок 6.1;

R – квадратный корень из резонансной составляющей реакции, см. В.2(5) (Приложение В);

K_x – безразмерный коэффициент, приведенный в Формуле (В.11);

$m_{1,x}$ – эквивалентная масса на единицу длины в направлении действия ветра, см. F.4(1) (Приложение F);

$n_{1,x}$ – собственная частота изгибных колебаний параллельно направлению действия ветра. Более подробная информация содержится в Приложении F;

$\Phi_{1,x}(z)$ – основная форма собственных колебаний параллельно направлению действия ветра. В качестве первого приближения могут использоваться формулы из Приложения F.

(3) Безразмерный коэффициент K_x определен следующим образом:

$$K_x = \frac{\int_0^h v_m^2(z) \cdot \Phi_{1,x}(z) dz}{v_m^2(z_e) \cdot \int_0^h \Phi_{1,x}^2(z) dz}, \quad (\text{B.11})$$

где h – высота сооружения в соответствии с Рисунком 6.1.

ПРИМЕЧАНИЕ При применении $\Phi_{1,x}(z) = (z/h)^\zeta$ (см. приложение F) и $c_0(z) = 1$ (плоская местность, см. 4.3.3) выражение (B.11) может быть аппроксимировано с применением Формулы (B.12). Эта аппроксимация представлена на Рисунке B.4.

$$K_x = \frac{(2\zeta + 1) \cdot \left\{ (\zeta + 1) \cdot \left[\ln \left(\frac{z_s}{z_0} \right) + 0,5 \right] - 1 \right\}}{(\zeta + 1)^2 \cdot \ln \left(\frac{z_s}{z_0} \right)}, \quad (\text{B.12})$$

где z_0 – параметр шероховатости (см. Таблицу 4.1);

ζ – экспонента формы колебаний (см. Приложение F).

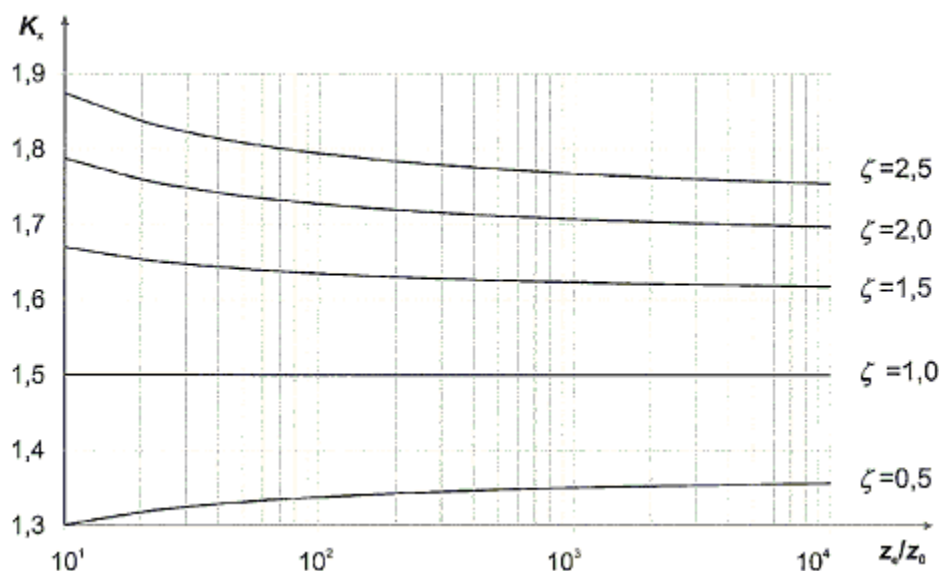


Рисунок B.4 – Аппроксимация безразмерного коэффициента K_x в соответствии с формулой (B.12)

Характеристические пиковые значения ускорения определяют умножением стандартного отклонения, указанного в (2), на пиковый коэффициент по В.2(3) (Приложение В) с использованием собственной частоты изгибных колебаний, т. е.

$$v = n_{1x}.$$

Приложение С
(информационное)

Второй метод расчета для определения конструкционного коэффициента $c_s c_d$

С.1 Турбулентность ветра

(1) Турбулентность определяют по Формуле В.1.

С.2 Конструкционный коэффициент $c_s c_d$

(1) Конструкционный коэффициент $c_s c_d$ определен в 6.3.1.

(2) Фоновая составляющая реакции B^2 учитывает отсутствие полной корреляции давления на поверхность конструкции и может рассчитываться по Формуле (С.1)

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{L(z_s)}\right)^2 + \left(\frac{h}{L(z_s)}\right)^2 + \left(\frac{b}{L(z_s)} \cdot \frac{h}{L(z_s)}\right)^2}}, \quad (\text{С.1})$$

где

b, h – ширина и высота сооружения, см. рисунок 6.1;

$L(z_s)$ – масштаб длины турбулентности в соответствии с В.1(1) для базовой высоты z_s , как определено на Рисунке 6.1. С целью безопасности может применяться $B^2 = 1$.

(3) Для определения значения пикового коэффициента k_p может быть использовано В.2(3) (Приложение В).

(4) Резонансная составляющая реакции R^2 определяет резонансные колебания с учетом формы колебаний вследствие турбулентности и определяется по Формуле (С.2)

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot K_s(n_{1,x}), \quad (\text{С.2})$$

где

δ – логарифмический декремент затухания в соответствии с F.5 (Приложение F);

S_L – безразмерная функция спектральной плотности, как указано в В.1(2) (Приложение В);

$n_{1,x}$ – собственная частота изгибных колебаний параллельно направлению действия ветра, значение которой может быть определено по Приложению F;

K_s – функция уменьшения размера, как указано в (5).

(5) Функция уменьшения размера K_s может быть аппроксимирована с применением Формулы (С.3)

$$K_s(n) = \frac{1}{1 + \sqrt{(G_y \cdot \varphi_y)^2 + (G_z \cdot \varphi_z)^2 + \left(\frac{2}{\pi} \cdot G_y \cdot \varphi_y \cdot G_z \cdot \varphi_z\right)^2}}, \quad (\text{С.3})$$

$$\text{где } \varphi_y = \frac{c_y b n}{v_m(z_s)}, \varphi_z = \frac{c_z h n}{v_m(z_s)}.$$

Постоянные G_y и G_z зависят от изменения формы собственных изгибных колебаний параллельно горизонтальной оси y и вертикальной оси z (в указанной последовательности). Обе постоянные затухания c_y и c_z равны 11,5.

(6) Постоянная G , приведенная в (5), и постоянная K для расчета ускорений представлены в Таблице С.1.

Таблица С.1 – G и K как функции форм колебаний

Форма колебаний	Равномерная	Линейная	Параболическая	Синусоидальная
G	1/2	3/8	5/18	$4/\pi^2$
K	1	3/2	5/3	$4/\pi$
ПРИМЕЧАНИЕ 1 Для зданий с равномерной горизонтальной формой колебаний и линейной вертикальной формой колебаний применяют: $\Phi(y,z) = z/h$, $G_y = 1/2$, $G_z = 3/8$, $K_y = 1$ и $K_z = 3/2$. ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для дымовых труб с равномерной горизонтальной формой колебаний и параболической вертикальной формой колебаний применяют: $\Phi(y,z) = z^2/h^2$, $G_y = 1/2$, $G_z = 5/18$, $K_y = 1$ и $K_z = 5/3$. ПРИМЕЧАНИЕ 3 Для мостов с синусоидальной горизонтальной формой колебаний применяют: $\Phi(y,z) = \sin(\pi \cdot y/b)$, $G_y = 4/\pi^2$, $G_z = 1/2$, $K_y = 4/\pi$, $K_z = 1$.				

С.3 Количество циклов нагружений для динамической реакции

(1) Количество нагружений может быть принято в соответствии с Приложением В.3.

С.4 Перемещения и ускорения для оценки эксплуатационной пригодности вертикальных конструкций

(1) Максимальное перемещение по направлению действия ветра устанавливают по эквивалентному статическому ветровому усилию в соответствии с требованиями 5.3.

(2) Стандартное отклонение $\sigma_{a,x}$ характеристического ускорения конструкции по направлению действия ветра на высоте z определяется по Формуле (С.4)

$$\sigma_{a,x}(y,z) = c_f \rho l_v(z_s) \cdot v_m^2(z_s) \cdot R \cdot \frac{K_y \cdot K_z \cdot \Phi(y,z)}{\mu_{\text{ref}} \Phi_{\text{max}}}, \quad (\text{С.4})$$

где

c_f – коэффициент усилия, см. Раздел 7;

ρ – плотность воздуха, см. 4.5(1);

$l_v(z_s)$ – интенсивность турбулентности $l_v(z)$ в направлении действия ветра на высоте $z = z_s$ по 4.4 и Рисунку 6.1;

$v_m(z_s)$ – средняя скорость ветра $v_m(z)$ для $z = z_s$, см. 4.3.1(1);

z_s – базовая высота, см. рисунок 6.1;

R – квадратный корень из резонансной составляющей реакции, см. С.2(4) (Приложение С);

K_y, K_z – постоянные, как указано в С.2(6) (Приложение С);

μ_{ref} – базовая масса на единицу площади, см. F.5(3) (Приложение F);

$\Phi(y,z)$ – форма колебаний;

Φ_{max} – значение амплитудной точки формы колебания.

Характеристические пиковые значения ускорения определяют умножением стандартного отклонения, указанного в (2), на пиковый коэффициент из Приложения В.2(3) с использованием собственной частоты изгибных колебаний, т. е.

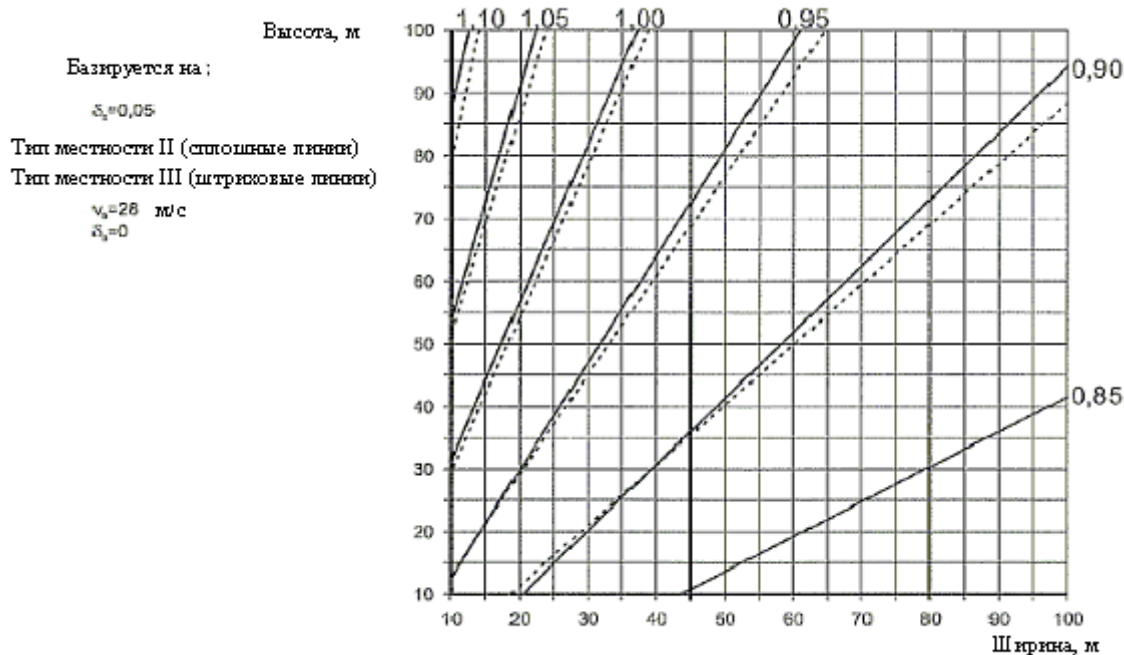
$$v = n_{1,x}.$$

Приложение D (информационное)

Значения конструкционного коэффициента c_{sd} для разных типов зданий

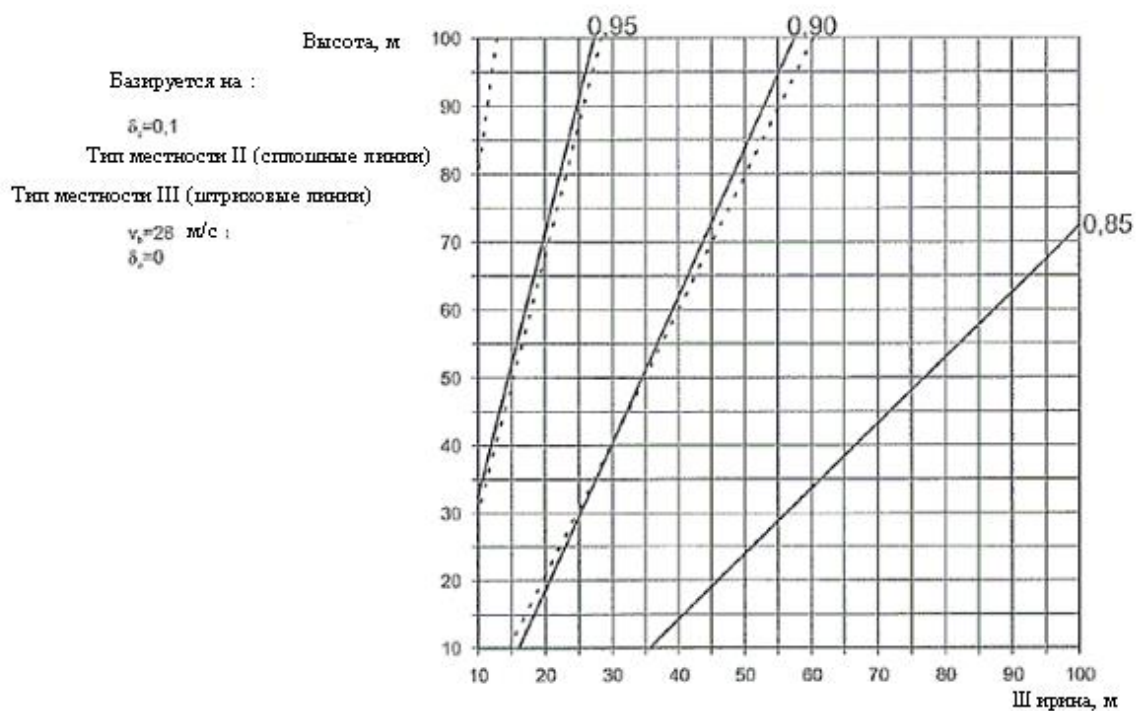
(1) Собственные частоты и формы колебаний конструкций, которые представлены в данном приложении, получены аналитически или с использованием формул из Приложения F.

c_{sd} для многоэтажных зданий со стальным каркасом



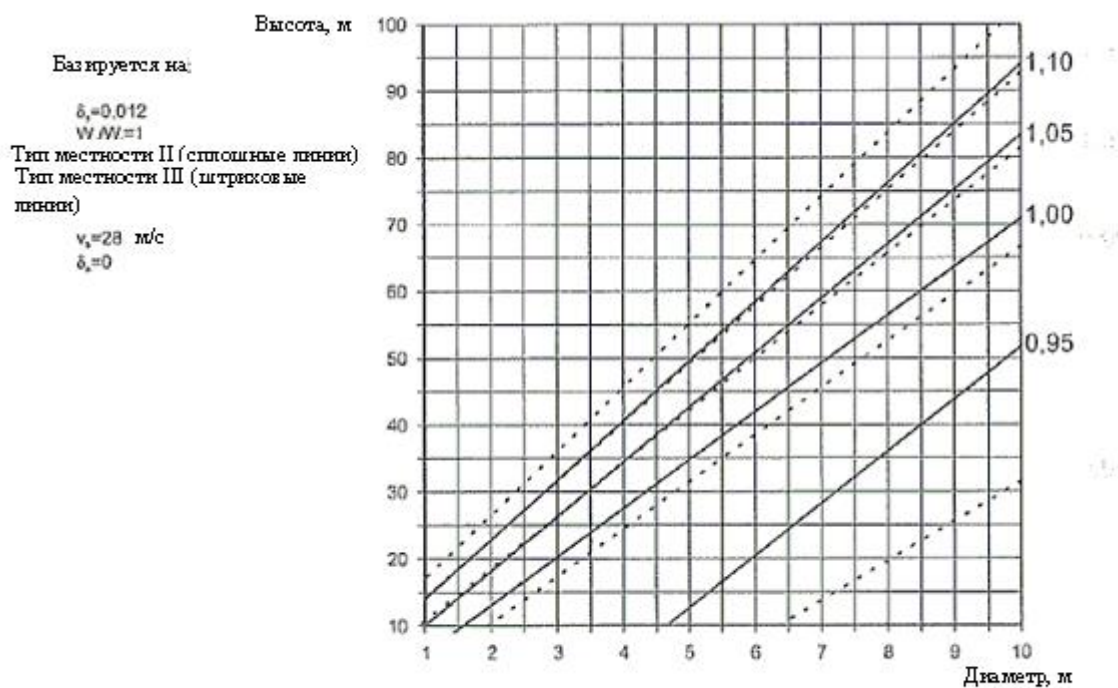
ПРИМЕЧАНИЕ Для значений, превышающих 1,1, следует применять уточненный метод по 6.3 (допустимое минимальное значение $c_{sd} = 0,85$).

Рисунок D.1 – Значения конструкционного коэффициента c_{sd} для многоэтажных зданий со стальным каркасом прямоугольных в плане и с вертикальными наружными ограждениями, а также с равномерно распределенными массами и жесткостями (частота в соответствии с Формулой (F.2)) c_{sd} для многоэтажных зданий с железобетонным каркасом



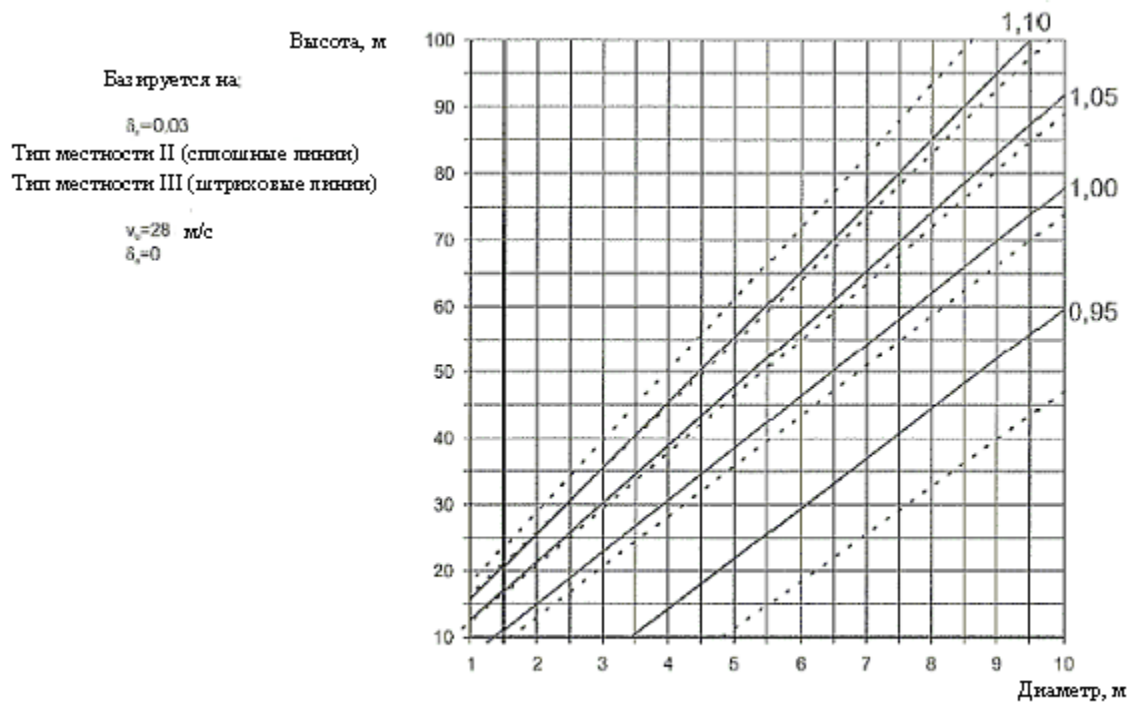
Примечание – Для значений, превышающих 1,1, следует применять уточненный метод по 6.3 (допустимое минимальное значение $c_s c_d = 0,85$).

Рисунок D.2 – Значения конструкционного коэффициента $c_s c_d$ для многоэтажных зданий с железобетонным каркасом прямоугольных в плане и с вертикальными наружными ограждениями, а также с равномерно распределенными массами и жесткостями (частота в соответствии с Формулой (F.2)) $c_s c_d$ для стальных дымовых труб без футеровки



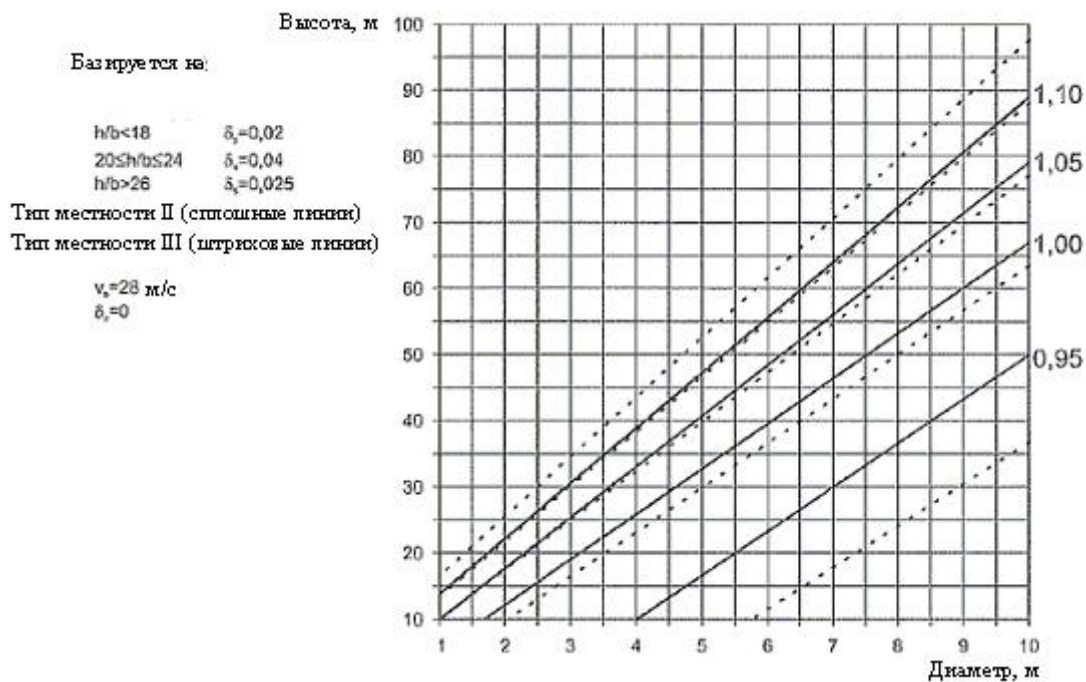
ПРИМЕЧАНИЕ Для значений, превышающих 1,1, следует применять уточненный метод по 6.3 (допустимое минимальное значение $c_s c_d = 0,85$).

Рисунок D.3 – Значения конструкционного коэффициента $c_s c_d$ для стальных дымовых труб без футеровки (частота в соответствии с Формулой (F.3), при $\varepsilon_1 = 1\,000$ и $W_s/W_t = 1,0$) $c_s c_d$ для железобетонных дымовых труб без футеровки



ПРИМЕЧАНИЕ Для значений, превышающих 1,1, следует применять уточненный метод по 6.3 (допустимое минимальное значение $c_{sd} = 0,85$).

Рисунок D.4 – Значения конструкционного коэффициента c_{sd} для железобетонных дымовых труб без футеровки (частота в соответствии с Формулой (F.3), при $\varepsilon_1 = 700$ и $W_s/W_t = 1,0$) c_{sd} для стальных дымовых труб с футеровкой



ПРИМЕЧАНИЕ Для значений, превышающих 1,1, следует применять уточненный метод по 6.3 (допустимое минимальное значение $c_s c_d = 0,85$).

Рисунок D.5 – Значения конструкционного коэффициента $c_s c_d$ для стальных дымовых труб с футеровкой (частота в соответствии с Формулой (F.3), при $\epsilon_1 = 1000$ и $W_s/W_t = 1,0$)

Приложение Е
(информационное)

Вихревое возбуждение и динамические неустойчивости

Е.1 Вихревое возбуждение

Е.1.1 Общие положения

(1) Вихревое возбуждение возникает, если вихри попеременно распространяются от противоположных сторон конструкции, в результате чего возникает переменная нагрузка, нормальная направлению действия ветра. Если частота вихревых возбуждений равняется собственной частоте конструкции, в конструкции могут возникнуть колебания. Это условие имеет место, если скорость ветра соответствует критической скорости ветра, определенной в Е.1.3.1. Обычно критическая скорость ветра является часто появляющейся скоростью, так что циклическая нагрузка и связанное с ней количество циклов нагружения могут стать важными для расчета.

(2) Реакция системы при вихревых возбуждениях определяется общими колебаниями, так или иначе имеющими место при ветровых воздействиях и частными от вихревого возбуждения.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Реакции при общих колебаний важны для железобетонных или тяжелых металлических конструкций.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Реакции при частных колебаниях важны для легких металлоконструкций.

Е.1.2 Критерии для вихревого возбуждения

(1) Эффект вихревого возбуждения должен исследоваться, если отношение максимального размера конструкции к минимальному в плоскости, нормальной направлению действия ветра, превышает значение, равное 6.

(2) Вызываемое вихревое возбуждение исследовать не нужно, если

$$v_{crit,i} > 1,25v_m, \quad (E.1)$$

где

$v_{crit,i}$ — критическая скорость ветра согласно Е.1.3.1 для i -ой собственной формы колебаний;

v_m — средняя скорость ветра, соответствующая 10-минутному интервалу осреднения по 4.3.1(1) в зоне поперечного сечения, где возникает вихревое возбуждение (см. Рисунок Е.3).

Е.1.3 Базовые параметры для вихревого возбуждения

Е.1.3.1 Критическая скорость ветра $V_{crit,i}$

(1) Критическая скорость ветра i -ой формы изгибного колебания определена как скорость ветра, при которой частота вихревого возбуждения равна собственной частоте конструкции или конструктивного элемента. Она рассчитывается по Формуле (Е.2)

$$V_{crit,i} = \frac{bn_{i,y}}{St}, \quad (E.2)$$

где

b – базовая ширина поперечного сечения в зоне вихревого возбуждения, в которой возникает максимальное модальное перемещение конструкции или конструктивного элемента; для круговых цилиндров базовая ширина равна наружному диаметру;

$n_{i,y}$ – собственная частота i -ой формы изгибных колебаний по нормали к направлению действия ветра. Приближенные формулы указаны в F.2 (Приложение F);

St – число Струхала в соответствии с Е.1.3.2.

(2) Критическая скорость ветра для эллиптической формы колебаний цилиндрических оболочек определяется как скорость ветра, при которой частота колебаний вихревого возбуждения вдвое больше собственной частоты колебаний i -ой эллиптической формы цилиндрической оболочки:

$$V_{crit,i} = \frac{bn_{i,0}}{2St}, \quad (E.3)$$

где

b – внешний диаметр оболочки;

St – число Струхала в соответствии с Е.1.3.2;

$n_{i,0}$ – собственная частота эллиптической i -ой формы колебаний оболочки.

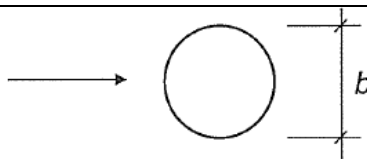
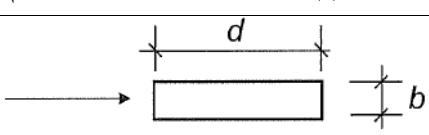
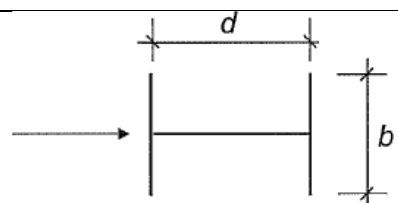
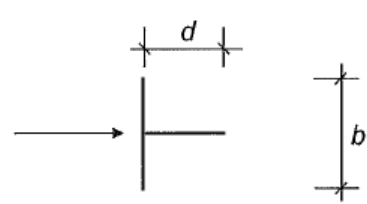
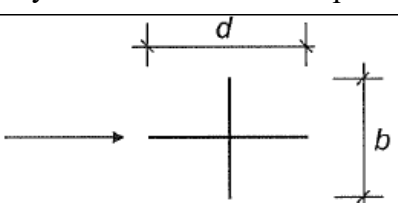
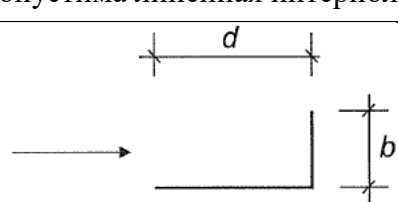
ПРИМЕЧАНИЕ 1 Для оболочек без колец жесткости значение n_0 указано в F.2(3) (Приложение F).

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Методы расчета эллиптических колебаний оболочек в приложении Е не указаны.

Е.1.3.2 Число Струхала St

(1) Число Струхала St для разных поперечных сечений указано в Таблице Е.1.

Таблица Е.1 – Числа Струхала St для разных поперечных сечений

Поперечное сечение		St
 Для всех чисел Рейнольдса		0,18
 $0,5 \leq d/b \leq 10$		По Рисунку Е.1
 Допустима линейная интерполяция	$d/b = 1$	0,11
	$d/b = 1,5$	0,10
	$d/b = 2$	0,14
 Допустима линейная интерполяция	$d/b = 1$	0,13
	$d/b = 2$	0,08
 Допустима линейная интерполяция	$d/b = 1$	0,16
	$d/b = 2$	0,12
 Допустима линейная интерполяция	$d/b = 1,3$	0,11
	$d/b = 2,0$	0,07
ПРИМЕЧАНИЕ Экстраполяция чисел Струхала как функции d/b не допускается.		

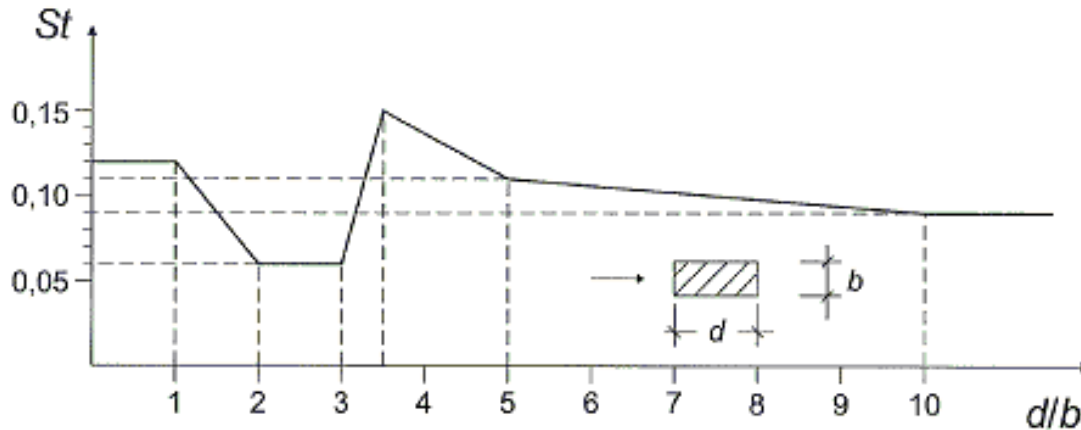


Рисунок Е.1 – Число Струхала St для прямоугольных поперечных сечений с острыми кромками

Е.1.3.3 Число Скрутона Sc

(1) Восприимчивость к колебаниям зависит от амортизации (демпфирования) конструкции и от отношения массы сооружения к массе текучей среды. Это отношение выражается как число Скрутона по Формуле (Е.4).

$$Sc = \frac{2\delta_s m_{i,e}}{\rho b^2}, \quad (\text{Е.4})$$

где

δ_s – амортизация (демпфирование) конструкции, выраженная логарифмическим декрементом затухания;

ρ – плотность воздуха;

$m_{i,e}$ – эквивалентная масса на единицу длины по формуле (F.14);

b – базовая ширина поперечного сечения в зоне вихревого возбуждения.

ПРИМЕЧАНИЕ Значение плотности воздуха ρ может указываться в Национальном Приложении. Рекомендованное значение составляет около 1,25 кг/м³.

Е.1.3.4 Число Рейнольдса Re

(1) У круговых цилиндров нагрузка от вихревого возбуждения колебаний зависит от числа Рейнольдса Re при критической скорости ветра $v_{crit,i}$. Число Рейнольдса рассчитывается по Формуле (Е.5).

$$Re(v_{crit,i}) = \frac{bv_{crit,i}}{\nu}, \quad (\text{Е.5})$$

где

b – наружный диаметр кругового цилиндра;

ν – кинетическая вязкость воздуха ($\nu \approx 15 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$);

ν_{crit} , – критическая скорость ветра по Е.1.3.1.

Е.1.4 Нагрузка вследствие вихревого возбуждения

(1) Нагрузки вследствие колебаний от вихревого возбуждения рассчитывают из сил инерции системы. Силы инерции на единицу длины $F_w(s)$, которые действуют на конструкцию нормально направлению действия ветра в месте s , могут рассчитываться по Формуле (Е.6).

$$F_w(s) = m(s) \cdot (2\pi \cdot n_{1,y})^2 \cdot \Phi_{i,y}(s) \cdot y_{F,\max}, \quad (\text{Е.6})$$

где

$m(s)$ – колеблющаяся масса конструкции, отнесенная к длине, кг/м;

$n_{i,y}$ – собственная частота i -ой формы колебаний конструкции;

$\Phi_{i,y}(s)$ – форма колебаний конструкции, нормированная к единице в точке s максимальным перемещением (амплитудой колебаний);

$y_{F,\max}$ – максимальное перемещение во времени (амплитуда колебаний) в точке s $\Phi_{i,y}(s)$, равным единице, см. Е.1.5.

Е.1.5 Расчет амплитуды поперечных колебаний

Е.1.5.1 Общие положения

(1) В Е.1.5.2 и Е.1.5.3 указаны два разных метода расчета амплитуд поперечных колебаний.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Выбор метода расчета или альтернативного принципа расчета может регулироваться в Национальном Приложении.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Непосредственное сравнение приближенных методов по Е.1.5.2 и Е.1.5.3 невозможно, так как некоторые входные параметры выбираются для разных условий окружающей среды. Национальное Приложение может указывать границы применения соответствующего метода.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Совместное применение методов расчета по Е.1.5.2 и Е.1.5.3 не допускается, за исключением случаев, когда на это явно указано в тексте.

(2) Метод расчета по Е.1.5.2 может применяться для различных видов конструкций и различных форм колебаний. Метод включает влияние турбулентности ветра и шероховатости и может применяться для нормальных климатических условий.

(3) Метод расчета по Е.1.5.3 может применяться для определения реакции консольных конструкции на первую форму колебаний. Условиями являются постоянные размеры нормально направлению действия ветра параллельно основной оси. Метод обычно применим для дымовых труб и мачт. Метод не может применяться для сгруппированных или расположенных в ряд цилиндров. Этот метод позволяет учитывать различные интенсивности

турбулентности, которые могут возникать из-за метеорологических условий. В районах, в которых вероятны низкие температуры и стратифицированное течение (например, в прибрежных районах Северной Европы), можно применять принцип расчета по Е.1.5.3.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении могут указываться те регионы, в которых вероятны низкие температуры и стратифицированное течение. Для этих регионов наиболее подходящим является расчет по второму методу из Е.1.5.3. Национальное Приложение может определять входные параметры (как например, K_a или интенсивность турбулентности), применяемые в этом методе.

Е.1.5.2 Первый метод для расчета амплитуды поперечных колебаний

Е.1.5.2.1 Расчет перемещения

(1) Максимальное перемещение $y_{F, \max}$ рассчитывают по Формуле (Е.7)

$$\frac{y_{F, \max}}{b} = \frac{1}{St^2} \cdot \frac{1}{Sc} \cdot K K_w c_{lat}, \quad (E.7)$$

где

St – число Струхаля по таблице Е.1;

Sc – число Скрутона по Е.1.3.3;

K_w – коэффициент приведенной длины по Е.1.5.2.4;

K – коэффициент формы колебаний по Е.1.5.2.5;

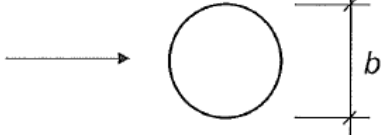
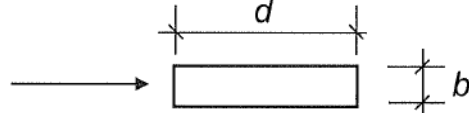
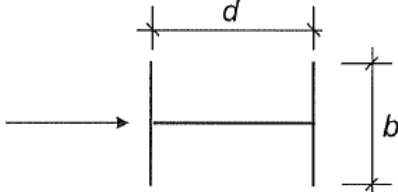
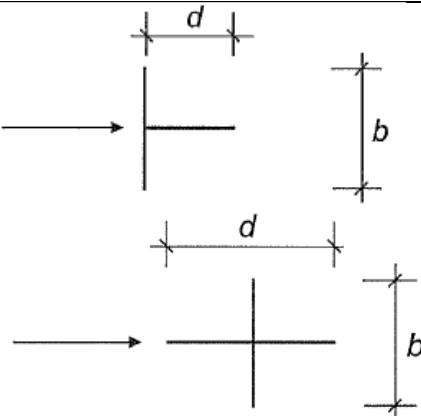
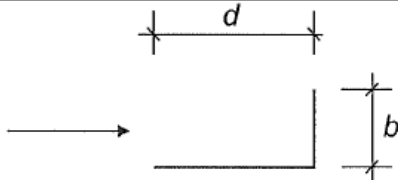
c_{lat} – аэродинамический коэффициент вихревого возбуждения по таблице Е.3.

ПРИМЕЧАНИЕ Аэродинамические силы учитываются через коэффициент корреляции длины K_w .

Е.1.5.2.2 Аэродинамический коэффициент вихревого возбуждения c_{lat}

(1) Базовые значения аэродинамических коэффициентов вихревого возбуждения $c_{lat,0}$ указаны в Таблице Е.2.

Таблица Е.2 – Базовые значения аэродинамических коэффициентов вихревого возбуждения c_{lat} для разных поперечных сечений

Поперечное сечение		$c_{lat,0}$
 Для всех чисел Рейнольдса		См. Рисунок Е.2
 $0,5 \leq d/b \leq 10$		1,1
 Допустима линейная интерполяция	$d/b = 1$	0,8
	$d/b = 1,5$	1,2
	$d/b = 2$	0,3
Допустима линейная интерполяция	$d/b = 1$	1,6
	$d/b = 2$	2,3
 Допустима линейная интерполяция	$d/b = 1$	1,4
	$d/b = 2$	1,1
 Допустима линейная интерполяция	$d/b = 1,3$	0,8
	$d/b = 2,0$	1,0
ПРИМЕЧАНИЕ Экстраполяция коэффициентов вихревого возбуждения как функции d/b не допускается.		

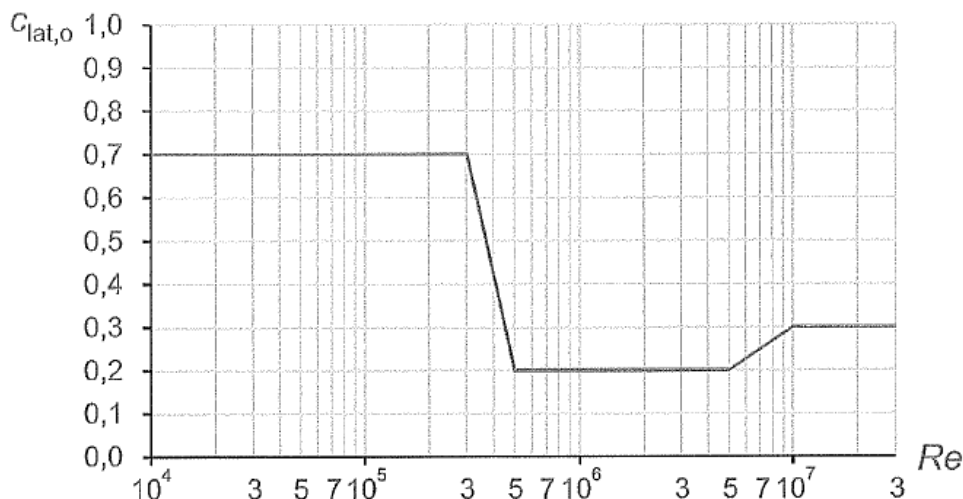


Рисунок Е.2 – Базовые значения аэродинамических коэффициентов вихревого возбуждения $C_{lat,0}$ в зависимости от числа Рейнольдса $Re(v_{crit,i})$ для круговых цилиндров, см. Е.1.3.4

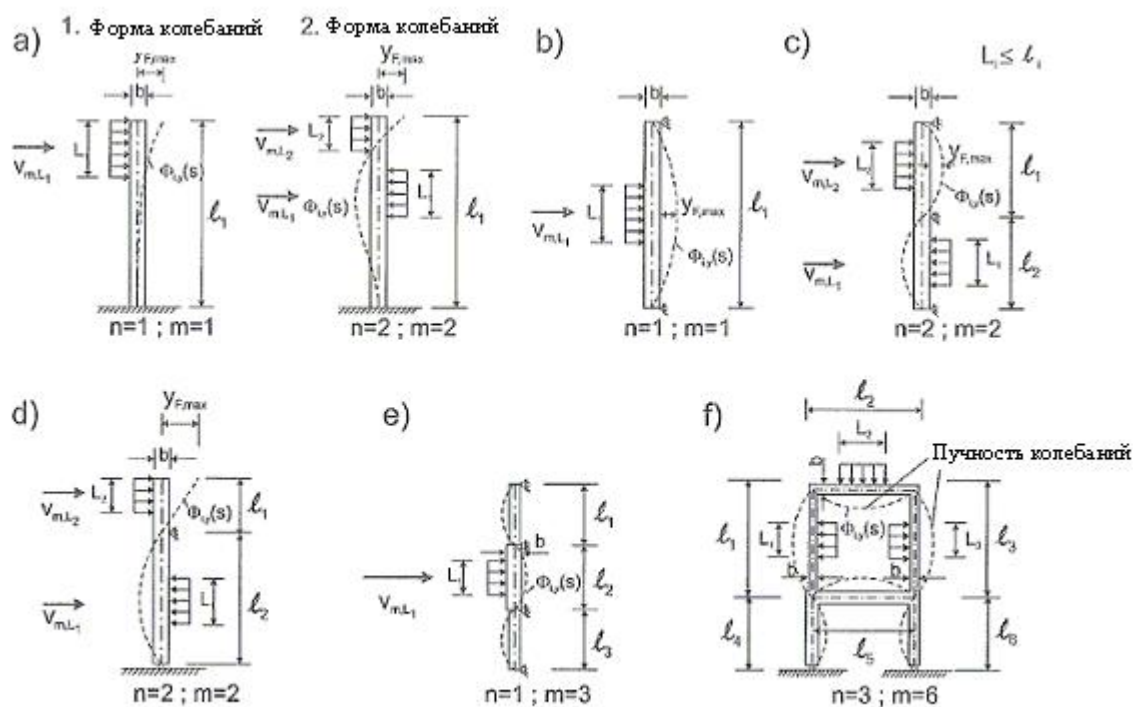
(2) Аэродинамический коэффициент вихревого возбуждения C_{lat} указан в Таблице Е.3.

Таблица Е.3 – Аэродинамический коэффициент вихревого возбуждения C_{lat} в зависимости от отношения критической скорости ветра к средней скорости ветра $v_{crit,i}/v_{m,Lj}$

Критическое отношение скоростей ветра	C_{lat}
$\frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \leq 0,83$	$C_{lat} = C_{lat,0}$
$0,83 \leq \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \leq 1,25$	$C_{lat} = \left(3 - 2,4 \cdot \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \right) \cdot C_{lat,0}$
$1,25 \leq \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}}$	$C_{lat} = 0$
Где $C_{lat,0}$ – основное значение C_{lat} по таблице Е.2 и для круговых цилиндров по Рисунку Е.2; $v_{crit,i}$ – критическая скорость ветра (см. Формулу (Е.1)); $v_{m,Lj}$ – средняя скорость ветра (см. 4.3) в середине эффективной приведенной длины по Рисунку Е.3.	

Е.1.5.2.3 Корреляционная длина L_j

(1) Корреляционная длина L_j должна размещаться в области пучности колебаний. Примеры приведены на Рисунке Е.3. Для мачтовых вышек с оттяжками и многопролетных мостов требуются специальные исследования.



ПРИМЕЧАНИЕ При указании более одной корреляционной длины, их применяют одновременно с использованием наибольшего значения L_{lat} .

Рисунок Е.3 – Примеры использования корреляционной длины L_j ($j = 1, 2, 3$)

Таблица Е.4 – Корреляционная длина L_j как функция амплитуды колебаний $F(s_j)$

$y_F(s_j)/b$	L_j/b
$<0,1$	6
$0,1 - 0,6$	$4,8 + 12 \cdot \frac{y_F(s_j)}{b}$
$>0,6$	12

Е.1.5.2.4 Коэффициент эффективной корреляционной длины K_w

(1) Коэффициент эффективной корреляционной длины K_w следует определять по Формуле (Е.8).

$$K_w = \frac{\sum_{j=1}^n \int_{L_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds}{\sum_{j=1}^m \int_{l_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds} \leq 0,6, \quad (\text{Е.8})$$

где

$\Phi_{i,y}$ – i -ая форма колебаний (см. F.3);

L_j – корреляционная длина;

l_j – длина конструкции между двумя узловыми точками (см. Рисунок Е.3); для консольных систем длина идентична высоте конструкции;

n – количество зон, в которых одновременно возникает вихревое возбуждение (см. Рисунок Е.3);

m – количество пучностей колебаний учитываемой формы колебаний $\Phi_{i,y}$ колеблющейся системы;

s – координата по Рисунку Е.5.

(2) Для некоторых простых конструкций, которые колеблются в основной форме и на которые воздействует вихревое возбуждение, как в Таблице Е.5, коэффициент приведенной длины K_w допускается определять приближенно по формулам, приведенным в Таблице Е.5.

Таблица Е.5 – Коэффициент эффективной корреляционной длины K_w и коэффициент K формы колебаний простых конструкций

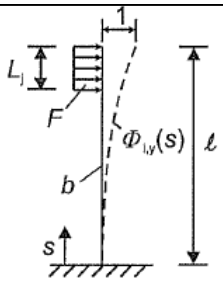
Конструкция	Форма колебаний $\Phi_{i,y}(s)$	K_w	K
	См. F.3 (приложение F) с $\zeta = 2,0$; $n = 1$; $m = 1$	$3 \cdot \frac{L_j/b}{\lambda} \cdot \left[1 - \frac{L_j/b}{\lambda} + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{L_j/b}{\lambda} \right)^2 \right]$	0,13

Таблица Е.5 (продолжение)

	См. таблицу Е.1 (приложение F) $n = 1$; $m = 1$	$\cos \left[\frac{\pi}{2} \cdot \left(1 - \frac{L_j / b}{\lambda} \right) \right]$	0,10
	См. таблицу Е.1 (приложение F) $n = 1$; $m = 1$	$\frac{L_j / b}{\lambda} + \frac{1}{\pi} \cdot \sin \left[\pi \cdot \left(1 - \frac{L_j / b}{\lambda} \right) \right]$	0,11
	Модальный анализ $n = 3$; $m = 3$	$\frac{\sum_{j=1}^n \int_{L_j} \Phi_{i,y}(s) ds}{\sum_{j=1}^m \int_{l_j} \Phi_{i,y}(s) ds}$	0,10
ПРИМЕЧАНИЕ 1 Форма колебаний $\Phi_{i,y}(s)$ может определяться по Разделу F.3 (Приложение F). Параметры n и m определены в Формуле (Е.8) и на Рисунке Е.3. ПРИМЕЧАНИЕ 2 $\lambda = l/b$.			

Е.1.5.2.5 Коэффициент формы колебаний

(1) Коэффициент формы колебаний K определен по формуле

$$K = \frac{\sum_{j=1}^m \int_{l_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds}{4\pi \cdot \sum_{j=1}^m \int_{l_j} |\Phi_{i,y}^2(s)| ds}, \quad (\text{Е.9})$$

где

m – определяется по Е.1.5.2.4(1);

$\Phi_{i,y}(s)$ – i -ая форма поперечных колебаний (см. F.3);

l_j – длина конструкции между двумя узловыми точками (см. Рисунок Е.3).

(2) Для некоторых простых конструкций, колеблющихся в основной форме колебаний, коэффициент указан в Таблице Е.5.

Е.1.5.2.6 Количество циклов нагружений

(1) Количество N циклов нагружений, вызываемых вихревым возбуждением колебаний, можно определять по Формуле (Е.10).

$$N = 2T \cdot n_y \cdot \varepsilon_0 \cdot \left(\frac{v_{\text{crit}}}{v_0} \right)^2 \cdot \exp \left(- \left(\frac{v_{\text{crit}}}{v_0} \right)^2 \right), \quad (\text{Е.10})$$

где

n_y – собственная частота, Гц, i -ой формы поперечных колебаний конструкции; приближенные методы указаны в Приложении F;

v_{crit} – критическая скорость ветра, м/с, по Е.1.3.1;

v_0 – $\sqrt{2}$ -кратное наиболее вероятное значения (модальная величина v_{mod}) распределения вероятностей Вейбулла средней скорости ветра, м/с;

T – проектный срок службы в секундах, соответствующий $3,2 \cdot 10^7$ -кратному требуемому сроку службы в годах;

ε_0 – коэффициент ширины диапазона частот, описывающий ширину диапазона скоростей ветра, индуцирующих вихревое возбуждение колебаний.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 В Национальном Приложении можно устанавливать минимальное значение N . Рекомендуемое значение $N \geq 10^4$.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для значения v_0 может приниматься 20 % характеристической средней скорости ветра на высоте поперечного сечения, где возникает вихревое возбуждение (см. 4.3.1(1)).

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Коэффициент ширины диапазона частот ε_0 может принимать значения от 0,1 до 0,3. Он может приниматься как $\varepsilon_0 = 0,3$.

Е.1.5.2.7 Резонансное вихревое возбуждение для сгруппированных или расположенных в ряд вертикальных цилиндров

(1) У сгруппированных или расположенных в ряд круговых цилиндров со связью и без нее (см. Рисунок Е.4) могут возникать вызываемые вихревым возбуждением колебания.

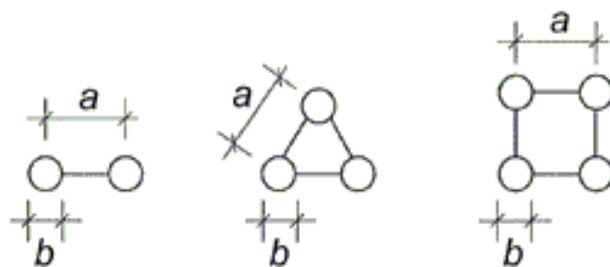


Рисунок Е.4 – Сгруппированные или расположенные в ряд цилиндры

(2) Максимальное перемещение может оцениваться по Формуле (Е.7) и с применением методов расчета по Е.1.5.2 и модификаций соответственно Формулам (Е.11) и (Е.12). Для цилиндров, расположенных в ряд, без связи применяют:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{lat}} &= 1,5c_{\text{lat}(\text{single})} && \text{для} && 1 \leq \frac{a}{b} \leq 10; \\
 c_{\text{lat}} &= c_{\text{lat}(\text{single})} && \text{для} && \frac{a}{b} \geq 15; \\
 &&& \text{линейную интерполяцию для} && 10 \leq \frac{a}{b} \leq 15; \\
 &&& && \text{(Е.11)} \\
 St &= 0,1 + 0,085 \cdot \log\left(\frac{a}{b}\right) && \text{для} && 1 \leq \frac{a}{b} \leq 9; \\
 St &= 0,18 && \text{для} && \frac{a}{b} \geq 9,
 \end{aligned}$$

где $c_{\text{lat}(\text{single})} = c_{\text{lat}}$ по Таблице Е.3.

Для цилиндров со связями применяют:

$$c_{\text{lat}} = K_{iv}c_{\text{lat}(\text{single})} \quad \text{для } 1,0 \leq a/b \leq 3,0,$$

где

K_{iv} – коэффициент интерференции для вихревого возбуждения (Таблица Е.8);

St – число Струхаля, по Таблице Е.8;

Sc – число Скрудтона, по Таблице Е.8.

Для цилиндров со связями с $a/b > 3,0$ требуются специальные исследования.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Коэффициент $1,5c_{\text{lat}}$ для круговых цилиндров без связи является весьма приблизительным.

Е.1.5.3 Второй метод для расчета амплитуды поперечных колебаний

(1) Характеристическое максимальное перемещение y_{max} для точки с наибольшей деформацией можно рассчитать по формуле (Е.13)

$$y_{\text{max}} = \sigma_y k_p, \quad \text{(Е.13)}$$

где

σ_y – стандартное отклонение для перемещения, см. (2);

k_p – пиковый коэффициент, см. (6).

(2) Стандартное отклонение σ_y для перемещения, отнесенное к ширине b в точке с наибольшей деформацией ($\Phi = 1$), может рассчитываться по Формуле (Е.14).

$$\frac{\sigma_y}{b} = \frac{1}{St^2} \cdot \frac{C_c}{\sqrt{\frac{Sc}{4\pi} - K_a \cdot \left(1 - \left(\frac{\sigma_y}{b \cdot a_L}\right)^2\right)}} \cdot \sqrt{\frac{\rho b^2}{m_e}} \cdot \sqrt{\frac{b}{h}}, \quad (E.14)$$

где

C_c – аэродинамическая постоянная, зависящая от формы поперечного сечения, а для круговых цилиндров – также от числа Рейнольдса Re , которое определено в Е.1.3.4(1) и указано в Таблице Е.6;

K_a – аэродинамическая постоянная затухания, как указано в Е.1.5.3(4);

a_L – нормированная предельная амплитуда, которая определяет перемещение конструкций с очень незначительными значениями затухания; приведена в Таблице Е.6;

St – число Струхала, как указано в Е.1.3.2;

ρ – плотность воздуха в условиях поперечных колебаний, см. Примечание 1;

m_e – эффективная масса на единицу длины, по F.4(1);

h , b – высота и ширина конструкции. Для конструкции с переменной шириной используется ширина с наибольшим перемещением.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Значение плотности воздуха ρ может указываться в Национальном Приложении. Рекомендуемое значение равно 1,25 кг/м³.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Аэродинамическая постоянная C_c зависит от подъемной силы, действующей на неподвижную конструкцию.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Вызываемые движением ветровые нагрузки учитывают за счет применения K_a и a_L .

(3) Стандартное отклонение σ_y для перемещения, отнесенное к ширине b , можно определить и по Формуле (Е.15).

$$\left(\frac{\sigma_y}{b}\right)^2 = c_1 + \sqrt{c_1^2 + c_2}. \quad (E.15)$$

При этом постоянные c_1 и c_2 определены следующим образом:

$$c_1 = \frac{a_L^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{Sc}{4\pi K_a}\right); \quad c_2 = \frac{\rho b^2}{m_e} \cdot \frac{a_L^2}{K_a} \cdot \frac{C_c^2}{St^4} \cdot \frac{b}{h}. \quad (E.16)$$

(4) Аэродинамическая постоянная затухания K_a снижается с возрастанием интенсивности турбулентности. При интенсивности турбулентности 0 % аэродинамическая постоянная затухания принимает значение $K_a = K_{a,max}$, которое приведено в Таблице Е.6.

ПРИМЕЧАНИЕ Если для интенсивности турбулентности используется значение $K_{a,\max}$ больше 0 %, то получают консервативный прогноз перемещения. В Национальном Приложении может указываться более точная информация о влиянии турбулентности на значение $K_{a,\max}$.

(5) Для круговых цилиндров и квадратных поперечных сечений постоянные C_s , $K_{a,\max}$ и a_L указаны в Таблице Е.6.

Таблица Е.6 – Постоянные для определения воздействия вихревого возбуждения

Постоянная	Круговой цилиндр $Re \leq 10^5$	Круговой цилиндр $Re = 5 \cdot 10^5$	Круговой цилиндр $Re \geq 10^6$	Квадратное поперечное сечение
C_s	0,02	0,005	0,01	0,04
$K_{a,\max}$	2	0,5	1	6
a_L	0,4	0,4	0,4	0,4
ПРИМЕЧАНИЕ Для круговых цилиндров принимается, что значения постоянных C_s и $K_{a,\max}$ пропорциональны логарифму числа Рейнольдса для диапазона $10^5 < Re < 5 \cdot 10^5$ и $5 \cdot 10^5 < Re < 10^6$.				

(6) Следует учитывать пиковый коэффициент k_p .

ПРИМЕЧАНИЕ Пиковый коэффициент может быть определен в Национальном Приложении. По Формуле (Е.17) получают рекомендуемые значения.

$$k_p = \sqrt{2} \cdot \left\{ 1 + 1,2 \cdot \arctan \left(0,75 \cdot \left(\frac{Sc}{4 \cdot \pi \cdot K_a} \right)^4 \right) \right\} \quad (\text{Е.17})^*$$

(Изм.ред. – Приказ КДСиЖКХ от 12.08.2025 г. №117-НК)

(7) Количество N циклов загрузений, вызываемых вихревым возбуждением колебаний, определяют по Е.1.5.2.6 с использованием коэффициента ширины диапазона частот $\varepsilon_0 = 0,15$.

Е.1.6 Мероприятия по предотвращению возникновения вихревых возбуждений

(1) Резонансные амплитуды вихревых возбуждений можно снижать за счет использования аэродинамических мер (только при выполнении определенных условий, например для чисел Скрутона $Sc \geq 8$) или с помощью мер, повышающих демпфирование. При использовании аэродинамических мер нужно учитывать, что аэродинамический коэффициент усилия может расти до значения $c_a = 1,4$. Аэродинамические и повышающие демпфирование меры требуют специальных исследований.

(2) По дополнительной информации дается ссылка на специальные правила, распространяемые на типы конструкции.

Е.2 Галопирование

Е.2.1 Общие положения

(1) Галопирование – это самовозбуждающиеся колебания гибких конструкций или конструктивных в форме изгибных колебаний по нормали к направлению ветра. Некруглые поперечные сечения, включая сечения I-, U-, L- и Т-образной формы, склонны к возникновению галопирования. Обледенение также может вызывать неустойчивость поперечного сечения.

(2) Колебания при галопировании начинаются с определенной начальной скорости v_{CG} . Амплитуды в этом случае быстро растут с увеличением скорости ветра.

Е.2.2 Начальная скорость

(1) Начальная скорость при галопировании v_{CG} определена в формуле (Е.18).

$$v_{CG} = \frac{2Sc}{a_G} \cdot n_{1,y} b, \quad (\text{Е.18})$$

где

Sc – число Скрутона по Формуле (Е.4);

$n_{1,y}$ – основная собственная частота изгибных колебаний по нормали к направлению действия ветра. Приближенные формулы для определения основной собственной частоты указаны в F.2 (Приложение F);

b – ширина поперечного сечения по Таблице Е.7;

a_G – коэффициент неустойчивости при галопировании (см. Таблицу Е.7). Если не известно ни одного значения, то расчеты можно проводить с применением $a_G = 10$.

(2) Следует обеспечить:

$$v_{CG} > 1,25v_m, \quad (\text{Е.19})$$

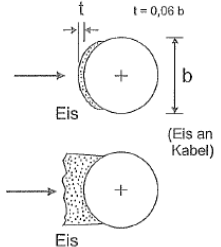
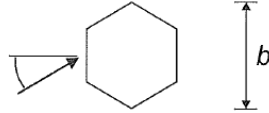
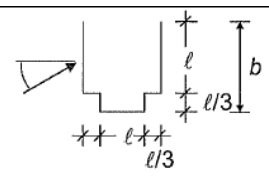
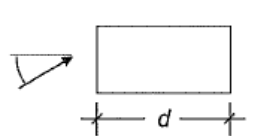
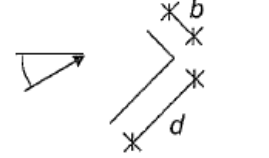
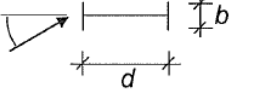
где v_m – средняя скорость ветра, м/с, определенная по Формуле (4.3), на высоте, при которой ожидается течение галопирования; как правило, это точки, в которых появляются наибольшие амплитуды колебаний.

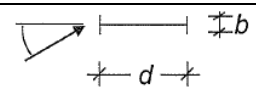
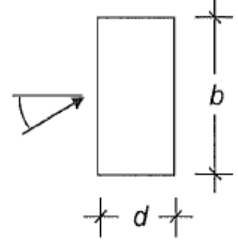
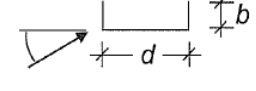
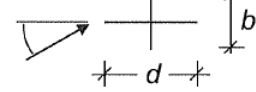
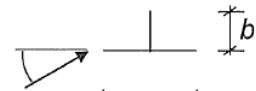
(3) При критической скорости ветра v_{crit} , вызываемой вихревым возбуждением, почти равной начальной скорости v_{CG} галопирования,

$$0,7 < \frac{v_{CG}}{v_{crit}} < 1,5, \quad (\text{Е.20})$$

вероятно влияние взаимодействия между вихревым возбуждением и галопированием. В этом случае рекомендуются специальные исследования.

Таблица Е.7 – Коэффициент неустойчивости при галопировании a_G

Поперечное сечение	Коэффициент неустойчивости a_G	Поперечное сечение	Коэффициент неустойчивости a_G
	1,0		1,0
			4
	$d/b = 2$ 2		$d/b = 2$ 0,7
Допустима линейная интерполяция	$d/b = 1,5$ 1,7		$d/b = 2,7$ 5

	$d/b = 1$	1,2		$d/b = 5$	7
	$d/b = 2/3$	1		$d/b = 3$	7,5
	$d/b = 1/2$	0,7		$d/b = 3/4$	3,2
Допустима линейная интерполяция	$d/b = 1/3$	0,4		$d/b = 2$	1
ПРИМЕЧАНИЕ Экстраполяция коэффициента a_G в виде функции d/b не допустима.					
Обледенение троса					

Е.2.3 Классическое галопирование цилиндров со связями

(1) В цилиндрах со связями (см. Рисунок Е.4) может возникнуть классическое галопирование.

(2) Начальная скорость v_{CG} классического галопирования цилиндров со связями может определяться по формуле:

$$v_{CG} = \frac{2Sc}{a_G} \cdot n_{1,y} b, \quad (\text{Е.21})$$

при этом применяют установленные в таблице Е.8 значения для Sc , a_G и b , параметр $n_{1,y}$ является основной собственной частотой изгибного колебания (см. F.2 (Приложение F)).

(3) Следует обеспечить:

$$v_{CG} > 1,25v_m(z), \quad (\text{Е.22})$$

где $v_m(z)$ – средняя скорость ветра м/с, определенная по Формуле (4.3), на высоте, при которой ожидается течение галопирования.

Таблица Е.8 – Значения для оценки реакции системы по нормали к направлению ветра для цилиндров со связями рядового или группового расположения

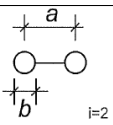
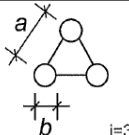
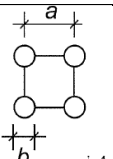
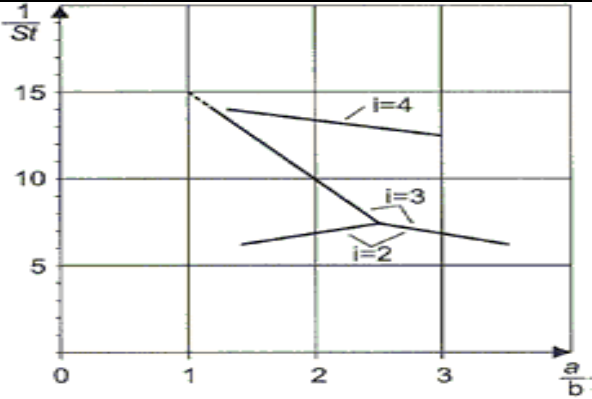
Расположение цилиндров	Число Скрутона $Sc = \frac{2\delta_s \cdot \sum m_{i,y}}{\rho b^2}$ (сравнить с формулой (Е.4))			
	$a/b = 1$	$a/b \geq 2$	$a/b \leq 1,5$	$a/b \geq 2,5$
 i=2	$K_{iv} = 1,5$	$K_{iv} = 1,5$	$a_G = 1,5$	$a_G = 3,0$
 i=3	$K_{iv} = 4,8$	$K_{iv} = 3,0$	$a_G = 6,0$	$a_G = 3,0$
 i=4	$K_{iv} = 4,8$	$K_{iv} = 3,0$	$a_G = 1,0$	$a_G = 2,0$

Таблица Е.8 (продолжение)

	Допустима линейная интерполяция
	 Обратные величины числа Струхали для цилиндров со связями рядового или группового расположения

Е.3 Интерференционное галопирование двух или более отдельно стоящих цилиндров

(1) Интерференционное галопирование – это самовозбуждающееся колебание, которое может возникнуть, если два или более цилиндра расположены на незначительном расстоянии друг от друга без связи друг с другом.

(2) Если угол набегающего потока находится в диапазоне критического направления потока β_k , а также при $a/b < 3$ (см. Рисунок Е.5) начальная скорость v_{CIG} может определяться по Формуле (Е.23).

$$v_{CIG} = 3,5n_{i,y}b \cdot \sqrt{\frac{\frac{a}{b} \cdot Sc}{a_{IG}}}, \quad (Е.23)$$

где

Sc – число Скрутона, как определено в Е.1.3.3(1);

a_{IG} – комбинированный коэффициент стабильности; $a_{IG} = 3,0$;

$n_{1,y}$ – основная собственная частота изгибных колебаний по нормали к направлению действия ветра. Приближенные значения указаны в F.2 (Приложение F);

a – расстояние;

b – диаметр.

ПРИМЕЧАНИЕ Национальное Приложение может содержать дополнительные данные для значения a_{IG} .

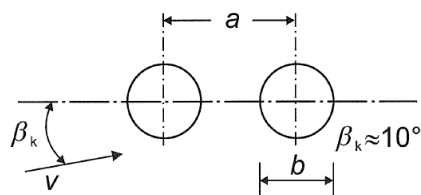


Рисунок Е.5 – Геометрические размеры для интерференционного галопирования

(3) Интерференционное галопирование может предотвращаться установкой связей между отдельно стоящими цилиндрами. Но в этом случае может появляться классическое галопирование (см. Е.2.3).

Е.4 Дивергенция и флаттер

Е.4.1 Общие положения

(1) Дивергенция и флаттер – это виды динамической неустойчивости, которые могут возникать только в подверженных деформациям пластинчатых конструкциях, например рекламные щиты, или пролетных конструкциях вантовых мостов, при превышении определенного порогового значения или критической скорости ветра. Эти виды динамической неустойчивости возникают, если деформации конструкции вызывают переменные аэродинамические нагрузки.

(2) Дивергенция и флаттер должны принципиально исключаться.

(3) Приведенные далее методы расчета позволяют проверить восприимчивость конструкции к данным неустойчивостям с помощью простых конструктивных критериев. Если эти условия не выполнены, проводят специальные исследования.

Е.4.2 Критерии для пластинчатых конструкций

(1) Чтобы быть восприимчивым к дивергенции или флаттеру, конструкция должна одновременно выполнять три следующих условия. Условия проверяют в указанной последовательности. Если одно из условий не выполнено, то сооружение или элемент конструкции не подвергается угрозе дивергенции или флаттера.

Конструкция или ее существенная часть должна иметь протяженное в длину сечение (подобное плоской пластине) с отношением размеров b/d менее 0,25 (см. Рисунок Е.6).

Ось кручения должна проходить параллельно плоскости пластины и перпендикулярно направлению действия ветра. Кроме того, ось кручения должна располагаться на расстоянии не менее $d/4$ в направлении действия ветра к краю панели с наветренной стороны, при этом d – ширина панели в направлении действия ветра перпендикулярно оси кручения. Это включает также случаи, когда ось кручения находится в центре тяжести поверхности, как, например, у рекламного щита, имеющего опору в центре, или у отдельно стоящего навеса с точкой опоры посередине. Ось кручения может совпадать с краем с подветренной стороны, как например у консольного, отдельно стоящего навеса.

Минимальная частота собственных колебаний должна относиться к крутящим колебаниям или частота собственных колебаний кручения должна быть меньше двойного значения минимальной частоты собственных поступательных колебаний.

Е.4.3 Скорость дивергенции

(1) Критическая скорость ветра для дивергенции составляет (по Формуле (Е.24)):

$$v_{div} = \left[\frac{2k_{\theta}}{\rho d^2 \cdot \frac{dc_M}{d\theta}} \right], \quad (E.24)$$

где

k_{θ} – крутильная жесткость;

c_M – аэродинамический коэффициент момента, как указано в Формуле (E.25):

$$c_M = \frac{M}{\frac{1}{2} \cdot \rho V^2 d^2}, \quad (E.25)$$

$dc_M/d\theta$ – производная аэродинамического коэффициента момента после оборота вокруг оси кручения. При этом θ выражается в радианах;

здесь

M – аэродинамический момент на единицу длины конструкции;

ρ – плотность воздуха, как указано в 4.5;

d – высота сооружения в направлении действия ветра (хорда) (см. рисунок E.6);

b – ширина, как определено на Рисунке E.6.

(2) Значения $dc_M/d\theta$ для прямоугольных сечений относительно центра тяжести плоскости сечения указаны на Рисунке E.6.

(3) Следует обеспечить:

$$v_{div} > 2v_m(z_e), \quad (E.26)$$

где $v_m(z_e)$ – средняя скорость ветра по Формуле (4.3) на высоте z_e (как определено на Рисунке 6.1).

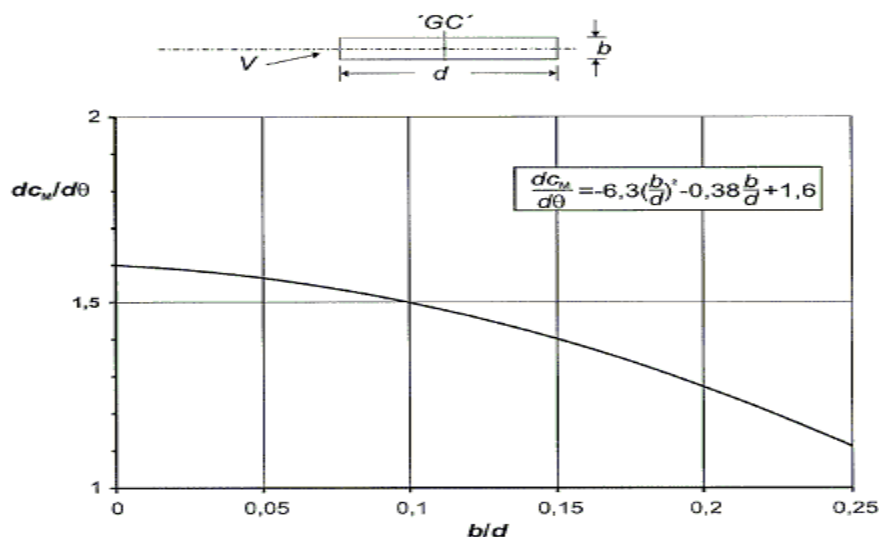


Рисунок E.6 – Производная $dc_M/d\theta$ аэродинамического коэффициента момента c_M (относительно геометрического центра тяжести «GC» прямоугольного поперечного сечения) по θ как функция b/d

Приложение F (информационное)

Динамические свойства сооружений

F.1 Общие положения

(1) Методы расчета, указанные в настоящем разделе, применяют при условии, что конструкции работают в упругой стадии с учетом классических форм собственных колебаний. В этом случае динамические свойства сооружения выражаются:

- собственными частотами;
- модальными формами;
- эквивалентными массами;
- логарифмическими декрементами затухания.

(2) Собственные частоты, модальные формы, эквивалентные массы и логарифмические декременты затухания определяют теоретическим или экспериментальным путем с помощью структурно-динамических методов.

(3) Основополагающая динамическая характеристика может быть определена с применением упрощенных аналитических, полуэмпирических или эмпирических приближенных формул при условии достаточной апробированности. Некоторые из этих формул указаны в F.2 – F.5.

F.2 Основная собственная частота

(1) Для консольных конструкций с центром масс (одной массой) на конце стержня для расчета основной собственной частоты изгиба n_1 конструкции может применяться упрощенная Формула (F.1)

$$n_1 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{x_1}}, \quad (\text{F.1})$$

где

g – ускорение свободного падения, равно 9,81 м/с²;

x_1 – максимальное перемещение под действием собственного веса в направлении колебаний, м.

(2) Основная собственная изгибная частота n_1 , Гц, для многоэтажных зданий высотой более 50 м может определяться по Формуле (F.2)

$$n_1 = \frac{46}{h}, \quad (\text{F.2})$$

где h – высота здания, м.

Эту формулу можно применять как вспомогательную для одноэтажных зданий и мачт.

(3) Основная собственная изгибная частота n_1 , Гц, дымовых труб может оцениваться по Формуле (F.3)

$$n_1 = \frac{\varepsilon_1 \cdot b}{h_{\text{eff}}^2} \cdot \sqrt{\frac{W_s}{W_t}}, \quad (\text{F.3})$$

с применением

$$h_{\text{eff}} = h_1 + \frac{h}{3}, \quad (\text{F.4})$$

где

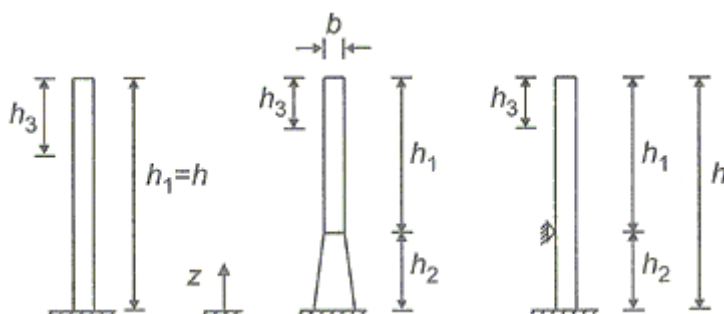
b – верхний диаметр дымовой трубы, м;

h_{eff} – эффективная высота дымовой трубы, м, h_1 и h_2 указаны на рисунке F.1;

W_s – вес элементов конструкции дымовой трубы, способствующих жесткости;

W_t – общий вес дымовой трубы;

ε_1 – 1000 – для стальных дымовых труб и 700 – для дымовых труб из железобетона или кирпичной кладки.



Примечание – $h_3 = h_1/3$; h_3 – см. F.4(2).

Рисунок F.1 – Размеры для дымовых труб

(4) Основная частота $n_{1,0}$ эллиптических колебаний длинной цилиндрической оболочки без колец жесткости может рассчитываться по Формуле (F.5):

$$n_{1,0} = 0,492 \cdot \sqrt{\frac{t^3 E}{\mu_s \cdot (1 - \nu^2) \cdot b^4}}, \quad (\text{F.5})$$

где

E – модуль упругости, Н/м²;

t – толщина оболочки, м;

ν – коэффициент Пуассона;

μ_s – масса оболочки на единицу площади, кг/м²;

B – диаметр оболочки, м.

По Формуле (F.5) получают минимальную собственную частоту оболочки. Кольца жесткости повышают собственную частоту n_0 .

(5) Минимальная вертикальная собственная изгибная частота $n_{1,B}$ мостов

пластинчатого или коробчатого сечения может приближенно определяться по Формуле (F.6)

$$n_{1B} = \frac{K^2}{2\pi L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_b}{m}}, \quad (\text{F.6})$$

где

L – длина основного пролета, м;

E – модуль упругости, Н/м²;

I_b – момент инерции площади поперечного сечения в центре пролета для вертикального изгиба, м⁴;

m – масса на единицу длины общего поперечного сечения в центре пролета (для нагрузки от собственного веса и других стационарных грузов), кг/м;

K – безразмерный коэффициент, который зависит от распределения пролета, как определено ниже:

а) для однопролетных мостов:

$K = \pi$, если опоры шарнирные;

$K = 3,9$, если с заделанными концами с одной стороны и с опорой на шарнирах с другой;

$K = 4,7$, если с заделанными концами с двух сторон;

б) для двухпролетных неразрезных мостов:

K получают из Рисунка F.2, с использованием кривой для мостов с двумя пролетами, где L_1 – длина крайнего пролета и $L > L_1$;

с) для трехпролетных неразрезных мостов:

K получают из Рисунка F.2, с использованием соответствующей кривой для мостов с тремя пролетами, где L_1 – длина наибольшего крайнего пролета;

L_1 – длина другого крайнего пролета и $L > L_1 > L_2$.

Данное условие распространяется также на мосты с тремя пролетами, у которых основной пролет подвешен. Если $L_1 > L$, то K может определяться по кривой для мостов с двумя пролетами, без учета самого короткого крайнего пролета и применяя самый длинный крайний пролет в качестве основного пролета, эквивалентного двухпролетному мосту;

д) для симметричных четырехпролетных неразрезных мостов (например, мосты, симметричные относительно средней опоры). Значение K может определяться по кривой для мостов с двумя пролетами по Рисунку F.2, рассматривая каждую половину моста как эквивалентный мост с двумя пролетами;

е) для несимметричных четырехпролетных неразрезных мостов и неразрезных мостов с количеством пролетов свыше четырех. K можно получить из Рисунка F.2 с использованием кривой для мостов с тремя пролетами и считая основной пролет наибольшим пролетом.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Если значение $\sqrt{\frac{EI_b}{m}}$ на опоре более чем в 2 раза превышает значение

в центре пролета или составляет менее 80 % значения в центре пролета, то Формула (F.6) не применяется, за исключением, если приемлемы очень грубые оценки.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для определения $n_{1,B}$ в циклах в секунду следует выбирать согласующиеся исходные величины.

(6) Собственная частота кручения балочных мостов идентична основной собственной изгибной частоте, рассчитываемой по Формуле (F.6), если средняя инерция продольного изгиба на единицу ширины не менее 100-кратной средней инерции поперечного изгиба на единицу длины.

(7) Собственная частота кручения мостов коробчатого сечения может приближенно определяться по Формуле (F.7)

$$n_{1,T} = n_{1,B} \cdot \sqrt{P_1 \cdot (P_2 + P_3)}, \quad (F.7)$$

С применением:

$$P_1 = \frac{mb^2}{I_p}, \quad (F.8)$$

$$P_2 = \frac{\sum r_j^2 I_j}{b^2 I_p}, \quad (F.9)$$

$$P_3 = \frac{L^2 \cdot \sum r_j^2 I_j}{2K_2 b^2 I_p \cdot (1 + \nu)}, \quad (F.10)$$

где

$n_{1,B}$ – основная частота изгиба, Гц;

b – общая ширина моста;

m – масса на единицу длины, определяемая в F.2(5);

ν – коэффициент Пуассона материала опоры;

r_j – расстояние от центра тяжести коробчатого сечения до центра тяжести поперечного сечения моста;

I_j – статический момент инерции единичного коробчатого сечения в центре пролета для вертикального изгиба, отнесенный к единице длины, включая эффективную ширину работающей совместно пролетной части;

I_p – статический момент инерции поперечного сечения в центре пролета, отнесенный к единице длины. Он рассчитывается по Формуле (F.11)

$$I_p = \frac{m_d b^2}{12} + \sum (I_{pj} + m_j r_j^2), \quad (F.11)$$

здесь

m_d – масса на единицу длины пролетной конструкции в центре пролета;

I_{pj} – статический момент инерции единичного коробчатого сечения в центре пролета;

m_j – масса единичного коробчатого сечения на единицу длины в центре пролета, без учета работающей совместно пролетной части;

J_j – постоянная кручения единичного коробчатого сечения в центре пролета. Определение проводят по Формуле (F.12)

$$J_j = \frac{4 \cdot A_j^2}{\oint \frac{ds}{t}}, \quad (F.12)$$

A_j – включенная площадь полости коробчатого сечения в центре пролета;

$\oint \frac{ds}{t}$ – интеграл отношения ширины стенки коробчатого сечения к толщине стенки

коробчатого сечения по его периметру в центре пролета.

ПРИМЕЧАНИЕ Потеря точности очень незначительна, если предлагаемая Формула (F.12) применяется для многоячеистых мостов коробчатого сечения, для которых отношение длины пролета к его ширине не превышает значения 6.

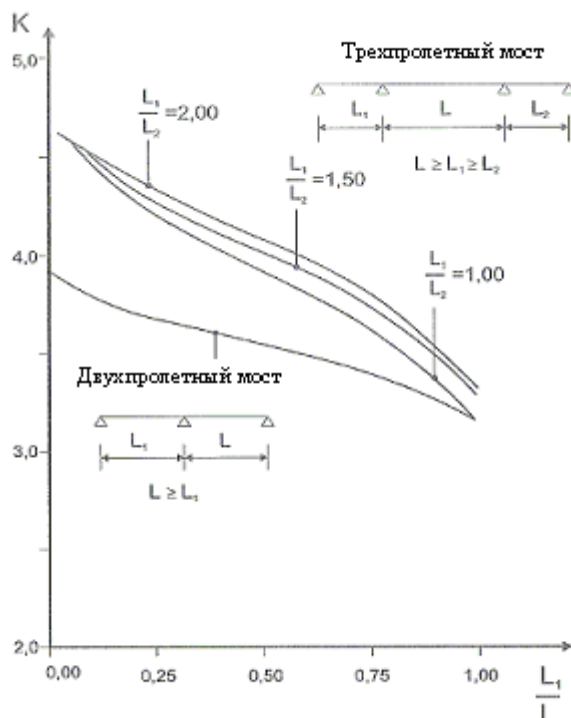


Рисунок F.2 – Коэффициент K для определения основной собственной изгибной частоты

F.3 Основная форма колебания

(1) Основная изгибная форма $\Phi_1(z)$ для консольных конструкций, таких как здания, мачты и дымовые трубы, может быть определена по Формуле (F.13), см. Рисунок F.3.

$$\Phi_1(z) = \left(\frac{z}{h} \right)^\zeta, \quad (F.13) *$$

(Изм.ред. – Приказ КДСиЖКХ от 12.08.2025 г. №117-НК)

$\zeta = 0,6$ – для гибких рамных каркасов без диафрагм жесткости;

$\zeta = 1,0$ – для зданий с центральным ядром и периметрическими колоннами или развитыми колоннами и элементами жесткости;

$\zeta = 1,5$ – для гибких консольных зданий и зданий, поддерживаемых центральными железобетонными ядрами;

$\zeta = 2,0$ – для мачт и дымовых труб;

$\zeta = 2,5$ – для металлических мачт решетчатой конструкции.

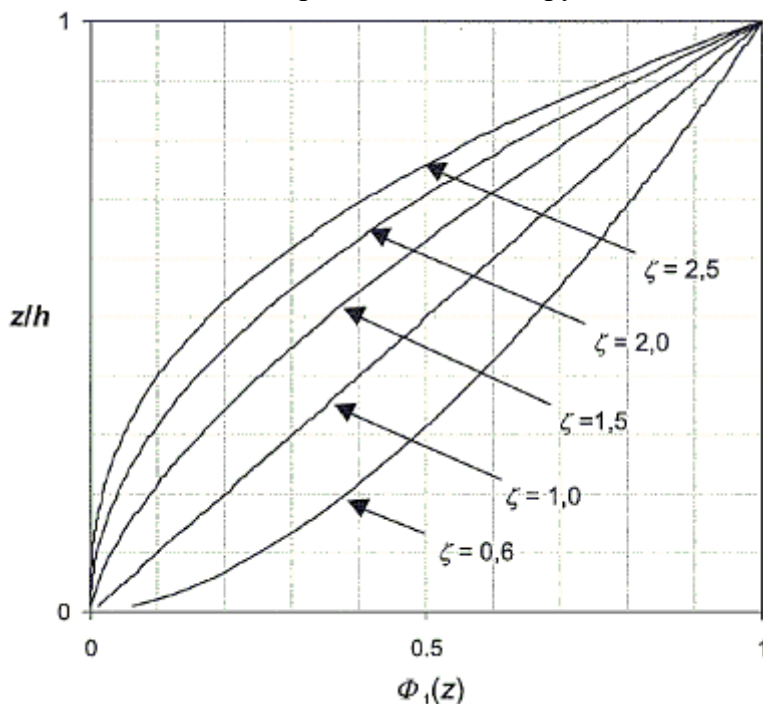


Рисунок F.3 – Основная форма изгибных колебаний для зданий, мачт и дымовых труб, работающих как консольные конструкции

(2) Основная форма изгибных колебаний $\Phi_1(s)$ мостов может приближенно определяться по Таблице F.1.

Таблица F.1 – Основные формы изгибных колебаний для шарнирно опертых или защемленных с обеих сторон конструкций или конструктивных элементов

Система	Форма колебаний	$\Phi_1(s)$
		$\sin\left(\pi \cdot \frac{s}{l}\right)$
		$\frac{1}{2} \left[1 - \left(2\pi \cdot \frac{s}{l} \right) \right]$

F.4 Эквивалентная масса

(1) Эквивалентная масса на единицу длины m_e для основной формы колебаний указана в Формуле (F.14).

$$m_e = \frac{\int_0^l m(s) \cdot \Phi_1^2(s) ds}{\int_0^l \Phi_1^2(s) ds}, \quad (\text{F.14})$$

где

m – масса на единицу длины;

l – высота или длина пролета конструкции или конструктивного элемента;

$i = 1$ – номер модальной формы.

(2) Для консольных конструкций с неравномерным распределением массы эквивалентная масса m_e может быть приближенно определена через среднее значение m , распределенное в верхней трети h_3 сооружения (см. Рисунок F.1).

(3) Для элементов конструкции с длиной пролета l с шарнирным опиранием по обоим концам и с неравномерным распределением массы на единицу длины эквивалентная масса m_e может быть определена с применением среднего значения распределенной массы, рассчитанного на длине $l/3$ для максимального значения $\Phi(s)$ (см. Таблицу F.1).

F.5 Логарифмический декремент демпфирования

(1) Логарифмический декремент затухания δ для основной формы изгибных колебаний может определяться по Формуле (F.15).

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d, \quad (\text{F.15})$$

где

δ_s – логарифмический декремент конструкционного демпфирования;

δ_a – логарифмический декремент аэродинамического демпфирования основной собственной формы;

δ_d – логарифмический декремент затухания вследствие специальных мероприятий (амортизатор колебаний, жидкостной амортизатор).

(2) Приближенные значения логарифмического декремента конструкционного демпфирования δ_s указаны в Таблице F.2.

(3) Логарифмический декремент аэродинамического демпфирования δ_a для колебаний в направлении действия ветра может оцениваться по Формуле (F.16).

$$\delta_a = \frac{c_f \rho V_m(z)}{2n_1 \mu_e}, \quad (\text{F.16})$$

где

c_f – коэффициент усилия в направлении действия ветра, как указано в разделе 7;

μ_e – эквивалентная масса на единицу поверхности конструкции, которая для прямоугольной поверхности может рассчитываться по Формуле (F.17)

$$\mu_e = \frac{\int_0^a \int_0^b \mu(e, z) \cdot \Phi_1^2(y, z) dy dz}{\int_0^a \int_0^b \Phi_1^2(y, z) dy dz}, \quad (F.17)$$

здесь

$\mu(e, z)$ – масса на единицу площади конструкции;

$\Phi(y, z)$ – модальная форма.

Масса на единицу площади конструкции в точке максимальной амплитуды модальной формы является для обычных случаев хорошим приближением для μ_e .

(4) В большинстве случаев модальные отклонения $\Phi(y, z)$ постоянны для каждой точки по высоте и вместо Формулы (F.16) для логарифмического декремента аэродинамического демпфирования δ_a может использоваться Формула (F.18):

$$\delta_a = \frac{c_f \rho b v_m(z_s)}{2n_1 m_e}. \quad (F.18)$$

(5) Если на сооружении принимаются специальные мероприятия по демпфированию колебаний, то δ_d определяют на основании соответствующего теоретического или экспериментального метода.

Таблица F.2 – Приближенные значения логарифмического конструкционного декремента затухания δ_s для основной формы колебаний конструкций

Тип сооружения		Значения конструкционного демпфирования δ_s
Здания с железобетонным каркасом		0,10
Здания со стальным каркасом		0,05
Здания со смешанным каркасом (сталь и бетон)		0,08
Мачты и дымовые трубы из железобетона		0,03
Сварные стальные дымовые трубы без наружной теплоизоляции		0,012
Сварные стальные дымовые трубы с наружной теплоизоляцией		0,020
Стальные дымовые трубы с обсадной трубой и с наружной теплоизоляцией ^{a)}	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b \leq 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,014
Стальные дымовые трубы с двумя и более обсадными трубами и с наружной теплоизоляцией ^{a)}	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b \leq 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,025

Стальные дымовые трубы с внутренней кирпичной облицовкой	0,070
Стальные дымовые трубы с внутренней облицовкой из торкретбетона	0,030

Таблица F.2 (продолжение)

Связанные стальные дымовые трубы без обсадной трубы		0,015
Расчлененные стальные дымовые трубы без обсадной трубы		0,04
Стальные мосты и мачты решетчатой конструкции	сварные	0,02
	высокопрочные болты	0,03
	обыкновенные болты	0,05
Сталежелезобетонные мосты		0,04
Железобетонные мосты	предварительно напряженные без трещин	0,04
	с трещинами	0,10
Деревянные мосты		0,06 – 0,12
Мосты из алюминиевых сплавов		0,02
Мосты, усиленные стекло- или пластиковым волокном		0,04 – 0,08
Тросы	Параллельные связки проволоки	0,006
	Проволока, расположенная в виде спирали	0,020
ПРИМЕЧАНИЕ 1 Значения для деревянных и пластмассовых составных конструкций являются только указаниями; если аэродинамические воздействия важны для расчета, то более точные формы колебаний определяют с применением специальных исследований. ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для вантовых мостов значения из Таблицы F.2 умножают на коэффициент 0,75. ^{a)} Для промежуточных значений h/b допускается линейная интерполяция.		

Библиография

- [1] ISO 2394 General principles on reliability for structures
(ИСО 2394) (Общие принципы проверки надежности строительных конструкций).
- [2] ISO 3898 Bases for design of structures – Notations – General symbols (ИСО 3898)
(Основы проектирования конструкций. Условные обозначения. Общие символы).
- [3] ISO 8930 General principles on reliability for structures – List of equivalent terms
(ИСО 8930) (Общие принципы проверки надежности строительных конструкций. Перечень эквивалентных терминов).

Приложение Д.А
(информационное)

**Сведения о соответствии государственных стандартов
ссылочным европейским стандартам**

Таблица – Д.А.1

Обозначение и наименование европейского стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование государственного стандарта
EN 1990:2002 Еврокод. Основы строительного проектирования	IDT	СП РК EN1990:2002. Еврокод. Основы строительного проектирования
EN 1991-1-3:2003 Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки	IDT	СП РК EN1991-1-3:2003 Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки
EN 1991-1-6:2005 Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-6. Особые воздействия. Воздействия при производстве строительных работ	IDT	СП РК EN 1991-1-6:2005 Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-6. Особые воздействия. Воздействия при производстве строительных работ

УДК 69+624.041.6] (083.74)

МКС 91.040:91.120

Ключевые слова: Строительство, проектирование, расчет, ветровое воздействие, скорость ветра, давление ветра, аэродинамический коэффициент, динамика, резонанс, пульсация.

Ресми басылым

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ӨНЕРКӘСІП ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС МИНИСТРЛІГІНІҢ ҚҰРЫЛЫС ЖӘНЕ
ТҰРҒЫН ҮЙ-КОММУНАЛДЫҚ ШАРУАШЫЛЫҚ ІСТЕРІ КОМИТЕТІ

**Қазақстан Республикасының
ЕРЕЖЕЛЕР ЖИНАҒЫ**

**КҮШ ТҮСЕТІН КОНСТРУКЦИЯЛАРҒА ӘСЕРЛЕР
1-4 бөлім. Жалпы әсерлер. Жел әсерлері**

Басылымға жауаптылар: «ҚазҚСҒЗИ» АҚ

Компьютерлік беттеу:

Пішімі 60 x 84 ¹/₈.

Қарпі: Times New Roman. Шартты баспа табағы 2,1.

«ҚазҚСҒЗИ» АҚ

050046, Алматы қаласы, Солодовников көшесі, 21

Тел./факс: +7 (727) 392 76 16 – қабылдау бөлмесі

Официальное издание

КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СТРОИТЕЛЬСТВА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

**СВОД ПРАВИЛ
Республики Казахстан**

**ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ
Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия**

Ответственные за выпуск: АО «КазНИИСА»

Набор и компьютерная верстка:

Формат 60 x 84 ¹/₈

Гарнитура: Times New Roman. Усл. печ. л. 2,1

АО «КазНИИСА»

050046, г. Алматы, ул. Солодовникова, 21

Тел./факс: +7 (727) 392 76 16 – приемная