

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ
ЕРЕЖЕЛЕР ЖИНАҒЫ**

**ҚР ЕЖ EN
1993-3-1:2006/2011**
2009ж. шілде айының
өзгеруімен.

**СВОД ПРАВИЛ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**СП РК EN
1993-3-1:2006/2011**
Включая исправления
на июль 2009г.

БОЛАТ ҚҰРАЛЫМДАРДЫ ЖОБАЛАУ

3-1 бөлім. Мұнаралар, мачталар және түгін құбырлары.

Мұнаралар мен мачталар

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Часть 3-1. Башни, мачты и дымовые трубы.

Башни и мачты

**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 Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс және
тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері комитеті**

**Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального Министерства
национальной экономики Республики Казахстан**

Астана 2016

АЛҒЫ СӨЗ

1 ӘЗІРЛЕГЕН:

«ҚазҚСҒЗИ» АҚ

2 ҰСЫНҒАН:

Қазақстан Республикасы 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:

Алғашқы рет іске қосылған

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

ПРЕДИСЛОВИЕ

1 РАЗРАБОТАН:

АО «КазНИИСА»

2 ПРЕДСТАВЛЕН:

Управлением технического регулирования и нор-
мирования Комитета по делам строительства и
жилищно-коммунального хозяйства Республики
Казахстан

**3 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН
В ДЕЙСТВИЕ:**

Приказом Комитета по делам строительства, жи-
лищно-коммунального хозяйства и управления зе-
мельными 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 вос-
произведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разреше-
ния Уполномоченного государственного органа по делам архитектуры, градостроитель-
ства и строительства Республики Казахстан

НАЦИОНАЛЬНОЕ ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий Свод правил Республики Казахстан является идентичным внедрением Европейского норматива EN 1993-3-1:2006 Eurocode 3 «Design of steel structures. Part 3- 1: Towers, masts and chimneys. Towers and masts».

Настоящий государственный нормативный документ является редакцией на русском языке официальной версии EN 1993-3-1:2006 (включающей все поправки на июль 2009 года).

В системе Сводов Правил Республики Казахстан, настоящий государственный нормативный документ является неотъемлемой частью комплекта нормативных документов СП РК EN, в состав которого входят:

- СП РК EN 1990 Основы строительного проектирования;
- СП РК EN 1991 Воздействия на несущие конструкции;
- СП РК EN 1992 Проектирование железобетонных конструкций;
- СП РК EN 1993 Проектирование стальных конструкций;
- СП РК EN 1994 Проектирование сталежелезобетонных конструкций;
- СП РК EN 1995 Проектирование деревянных конструкций;
- СП РК EN 1996 Проектирование каменных конструкций;
- СП РК EN 1997 Геотехническое проектирование;
- СП РК EN 1998 Проектирование сейсмостойких конструкций;
- СП РК EN 1999 Проектирование алюминиевых конструкций.

Официальные версии Европейских стандартов, на основе которых подготовлен настоящий документ и, стандартов, на которые даны ссылки, хранятся в уполномоченном органе по делам архитектуры, градостроительства и строительства Республики Казахстан.

Неотъемлемой частью настоящего нормативного документа является его Национальное Приложение. Без Национального Приложения настоящий государственный нормативный документ СП РК EN не должен применяться для проектирования сооружений и может использоваться исключительно в ознакомительно-образовательных целях.

Национальное Приложение содержит информацию о тех параметрах, которые в EN 1993-3-1:2006 оставлены открытыми для национального выбора. Ссылки на параметры, оставленные открытыми для национального выбора, даны в тексте EN 1993-3-1:2006.

С введением в действие настоящего свода Правил в течение переходного периода времени будут отменены все противоречащие ему государственные нормативные документы Республики Казахстан в области проектирования и строительства.

СП РК EN 1993-3-1:2006/2011
EN 1993-3-1:2006

EUROPEAN STANDARD

NORME EUROPÉENNE

EUROPÄISCHE NORM

ICS 91.010.30; 91.080.10

EN 1993-3-1:2006

Октябрь 2006

Взамен ENV 1993-3-1:1997
Включая исправления в июль 2009

Редакция на русском языке

Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций.
Часть 3-1: Башни, мачты и дымовые трубы. Башни и мачты

Eurocode 3: Design of steel structures -
Part 3- 1: Towers, masts and chimneys. Towers and masts

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 3 – 1:
Tours, mâts et cheminées – Pylônes et mâts haubannes

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 3-1 : Türme, Maste und Schornsteine – Türme und Maste

Этот Европейский стандарт утвержден Европейским комитетом по стандартизации CEN 13 января 2006 года.

Члены CEN объединены, чтобы придерживаться правил CEN/CENELEC Международного Регулирования, которые определяют условия для предоставления этому Европейскому стандарту статуса национального стандарта без каких-либо изменений. Ссылки на обновленный перечень и библиография относительно таких национальных стандартов могут быть получены при обращении в Центральный Секретариат или у любого члена CEN.

Этот Европейский стандарт существует в трех официальных версиях (английская, французская, немецкая). Версия на любом другом языке, сделанная путем перевода под ответственность члена CEN на его язык и зарегистрированная в Центральном Секретариате, имеет такой же статус, что и официальная версия.

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



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Management Centre: rue de Stassart, 36

B-1050 Brussels

© 2006 CEN Все права на использование, независимо от формы
и метода использования, сохранены за национальными членами CEN.

Ref. No. EN 1993-3-1:2006: E

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	1
1.1 Область применения	1
1.2 Нормативные ссылки	2
1.3 Условия применения	2
1.4 Различия между принципами и правилами проектирования	2
1.5 Термины и определения	2
1.6 Обозначения	4
1.7 Условные обозначения осей поперечного сечения	5
2 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	6
2.1 Требования	6
2.1.1 Основные требования	6
2.1.2 Обеспечение надежности	6
2.2 Принципы расчета по предельным состояниям	6
2.3 Воздействия и влияния окружающей среды	6
2.3.1 Действие ветра	6
2.3.2 Гололедная нагрузка	6
2.3.3 Тепловое воздействие	7
2.3.4 Собственный вес	7
2.3.5 Начальные натяжения оттяжек	7
2.3.6 Временные нагрузки	7
2.3.7 Другие воздействия	7
2.3.8 Распределение воздействий	8
2.4 Проверки по критическому предельному состоянию	8
2.5 Проектирование на основании результатов испытаний	8
2.6 Долговечность	9
3 МАТЕРИАЛЫ	10
3.1 Конструкционная сталь	10
3.2 Соединения	10
3.3 Оттяжки и арматура	10
4 Долговечность	11
4.1 Допуски на коррозию	11
4.2 Оттяжки	11
5 РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ	12

5.1	Моделирование с целью определения результатов воздействий.....	12
5.2	Моделирование соединений	12
5.2.1	Основные положения	12
5.2.2	Полностью триангулированные конструкции (фермы с треугольной решеткой).....	12
5.2.3	Нетриангулированные конструкции (неразрезные рамы)	13
5.2.4	Триангулированные конструкции с учетом неразрезности (неразрезные или полунеразрезные фермы).....	13
6	ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ ПО ПОТЕРЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ.....	14
6.1	Общие положения.....	14
6.2	Несущая способность сечений	14
6.2.1	Классификация сечений.....	14
6.2.2	Элементы решетчатых опор и мачт	14
6.2.3	Оттяжки и арматура.....	14
6.3	Несущая способность элементов	15
6.3.1	Сжатые элементы.....	15
6.4	Соединения.....	16
6.4.1	Общие положения.....	16
6.4.2	Фланцевые болтовые соединения	16
6.4.3	Анкерные болты.....	17
6.4.4	Сварные соединения.....	17
6.5	Специальные соединения для мачт.....	18
6.5.1	Крепление основания мачты.....	18
6.5.2	Крепление оттяжек	19
7	ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ.....	21
7.1	Общие положения.....	21
7.2	Деформация и повороты	21
7.2.1	Требования	21
7.2.2	Определение предельных значений.....	21
7.3	Вибрации	21
8	ПРОЕКТИРОВАНИЕ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ.....	23
9	ОЦЕНКА УСТАЛОСТИ.....	24
9.1	Общие положения.....	24
9.2	Усталостное нагружение.....	24
9.2.1	Линейные колебания	24

9.2.2 Вибрации, вызванные вихреобразованием при боковом ветре.....	25
9.2.3 Реакция отдельных элементов.....	25
9.3 Усталостная прочность.....	25
9.4 Оценка безопасности.....	25
9.5 Частные коэффициенты для оценки усталости.....	26
9.6 Усталость оттяжек.....	26
Приложение А (обязательное).....	27
А.1 Классификация надежности мачт и башен.....	27
А.2 Частные коэффициенты по нагрузке.....	27
Приложение В (информационное).....	29
В.1 Общие положения.....	29
В.1.1 Область действия данного Приложения.....	29
В.1.2 Обозначения.....	29
В.2 Ветровая нагрузка.....	30
В.2.1 Общие положения.....	33
В.2.2 Коэффициент ветровой нагрузки конструктивных элементов.....	33
В.2.3 Коэффициент ветровой нагрузки для линейных вспомогательных элементов.....	37
В.2.4 Коэффициенты ветровой нагрузки отдельных вспомогательных элементов.....	39
В.2.5 Коэффициенты ветровой нагрузки оттяжек.....	39
В.2.6 Коэффициенты ветровой нагрузки в условиях гололеда.....	40
В.2.7 Руководство для особых случаев.....	40
В.3 Реакция решетчатых опор.....	43
В.3.1 Критерии статических методов.....	43
В.3.2 Эквивалентный статический метод.....	44
В.3.3 Метод спектрального анализа.....	49
В.3.4 Колебания/вибрации, вызванные вихреобразованием при боковом ветре...	49
В.4 Характеристики мачт с оттяжками.....	49
В.4.1 Общие положения.....	49
В.4.2 Критерии обоснованности применения статических методов.....	50
В.4.3 Эквивалентные статические методы.....	51
В.4.4 Метод спектрального анализа.....	58
В.4.5 Колебания/вибрации, вызванные вихреобразованием.....	58
В.4.6 Вибрации оттяжек.....	58
Приложение С (информационное).....	60
С.1 Общие положения.....	60

C.2 Гололедная нагрузка.....	61
C.3 Вес льда.....	61
C.4 Гололедно-ветровая нагрузка	61
C.5 Асимметричная нагрузка от обледенения	62
C.6 Сочетание гололеда и ветра	62
Приложение D (<i>обязательное</i>).....	63
D.1 Оттяжки	63
D.1.1 Металлические оттяжки и элементы, работающие на растяжение.....	63
D.1.2 Неметаллические оттяжки.....	63
D.2 Виброгасители	63
D.2.1 Виброгасители конструкции	63
D.2.2 Виброгасители оттяжек	64
D.3 Изоляторы.....	64
D.4 Вспомогательные и другие приспособления	65
D.4.1 Лестницы, площадки и т.д.....	65
D.4.2 Молниезащита	65
D.4.3 Авиационные светоотражение и дневная маркировка	65
D.4.4 Защита от вандализма	66
Приложение E (<i>информационное</i>)	67
E.1 Введение.....	67
E.2 Упрощенная расчетная схема	67
E.3 Консервативный метод.....	69
E.4 Расчет на разрушение оттяжки	69
Приложение F (<i>информационное</i>).....	70
F.1 Общие положения	70
F.2 Болтовые соединения.....	70
F.3 Сварные соединения	70
F.4 Допуски	70
F.4.1 Общие положения.....	70
F.4.2 Допуски на монтаж	70
F.4.3 Ограничения натяжения.....	71
F.4.4 Предварительное растяжение оттяжек	71
F.5 Предварительное растяжение оттяжек.....	72
Приложение G (<i>информационное</i>).....	73
G.1 Несущая способность по устойчивости	73

G.2 Эффективный коэффициент гибкости k	74
Приложение Н (<i>информационное</i>)	80
Н.1 Общие положения	80
Н.2 Опорные стойки	80
Н.3 Связи жесткости	81
Н.3.1 Общие положения	81
Н.3.2 Треугольная решетка	83
Н.3.3 Перекрестная решетка	83
Н.3.4 Крестовая (растянутая) решетка	83
Н.3.5 Ромбическая решетка со вспомогательными элементами	84
Н.3.6 Разрезная ромбическая решетка с неразрезным горизонтальным элементом в центральной точке пересечения	84
Н.3.7 Ромбическая решетка с диагональными угловыми элементами	84
Н.3.8 Диагональные элементы полураскосной решетки	85
Н.3.9 Горизонтальные элементы граней с горизонтальными диафрагмами	85
Н.3.10 Горизонтальные элементы без диафрагм	87
Н.3.11 Изогнутые К-образные раскосы	88
Н.3.12 Портальная рама	88
Н.3.13 Многораскосная перекрестная решетка	89
Н.4 Вспомогательные связи жесткости	89
Н.5 Оболочковые конструкции	90

Предпосылки к созданию программы Еврокодов

В 1975 г. Комиссия Европейского сообщества приняла решение о внедрении программы в области строительства, основанное на статье 95 Соглашения. Целью программы являлось устранение технических барьеров в сотрудничестве и гармонизация технических нормативов.

В рамках этой программы Комиссия проявила инициативу по созданию комплекса гармонизированных технических правил для проектирования строительных объектов, которые на начальной стадии представляли бы альтернативу действующим национальным нормам в странах-членах и впоследствии заменяли бы их.

На протяжении 15 лет Комиссия при содействии 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 Европейского союза (EU) и Европейской ассоциации свободной торговли (EFTA) на основании Соглашения¹⁾ между Комиссией и CEN приняли решение о подготовке и издании Еврокодов посредством ряда мандатов с целью придания им в дальнейшем статуса европейского норматива (EN). Это обстоятельство фактически связывает Еврокоды с положениями Директив Совета и/или Решений Комиссии, которые касаются европейских стандартов (например, Директива Совета 89/106/ЕЕС о строительных изделиях (CPD) и Директивы Совета 93/37/ЕЕС, 92/50/ЕЕС и 89/440/ЕЕС об общественных работах и услугах и аналогичные Директивы EFTA, цель которых состоит в развитии внутреннего рынка). Программа Еврокодов строительных конструкций включает следующие стандарты, каждый из которых, как правило, состоит из нескольких частей:

- EN 1990 Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций
- 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.

¹⁾ Соглашение между Комиссией Европейского сообщества и Европейским комитетом по стандартизации (CEN), касающееся работы над Еврокодами по проектированию и строительству зданий и сооружений (BC/CEN/03/89).

²⁾ В соответствии со статьей 3.3 CPD основные требования (ER) должны иметь конкретную форму в пояснительных документах для обеспечения необходимых связей между основополагающими требованиями и мандатами для гармонизированных EN и ETAG/ETA.

Статус и область применения Еврокодов

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

- как средство подтверждения соответствия строительства зданий и сооружений основополагающим требованиям Директивы Совета 89/106/ЕЕС, в частности основополагающему требованию № 1 «Механическая прочность и устойчивость» и основополагающему требованию № 2 «Пожарная безопасность»;
- как базовый документ при заключении контрактов на производство строительных работ и относящиеся к ним инженерные услуги;
- как рамочные условия при разработке гармонизированных технических стандартов на строительные изделия (EN и ETA).

Еврокоды, поскольку они непосредственно касаются производства строительных работ, имеют прямое отношение к пояснительным документам²⁾, на которые приводится ссылка в статье 12 CPD, хотя они отличаются от гармонизированных стандартов на изделия³⁾. Поэтому технические аспекты, связанные с применением Еврокодов, подлежат соответствующему рассмотрению техническими комитетами CEN и/или рабочими группами EFTA, разрабатывающими стандарты на изделия, с целью достижения полного соответствия данных технических требований Еврокодам.

Еврокоды устанавливают общие правила проектирования, расчета и определения параметров как самих конструкций, так и отдельных конструктивных элементов, которые пригодны для обычного (стандартного) применения. Они касаются как традиционных методов строительства, так и аспектов инновационного применения, но при этом не содержат правил для нестандартных конструкций или специальных решений, для которых необходимо дополнительно привлекать экспертов.

Национальные стандарты, соответствующие выполнению Еврокодов

Национальные нормативы, соответствующие Еврокодам, должны содержать полный текст Еврокода (включая Приложения), опубликованный CEN, которому может предшествовать национальный титульный лист и национальное предисловие, и могут сопровождаться Национальным Приложением (справочным).

³⁾ В соответствии со статьей 12 CPD поясняющие документы должны:

- а) выражать в конкретной форме основополагающие требования посредством гармонизации терминологии и технической базы, а также путем указания классов или уровней для каждого требования, в случае необходимости;
- б) устанавливать методы корреляции этих классов или уровней с техническими требованиями, например, методами расчета и испытаний, техническими правилами проектирования и т. д.;
- в) использоваться в качестве ссылки при разработке гармонизированных стандартов и руководств при утверждении Европейскими техническими комитетами.

⁴⁾ См. статьи 3.3 и 12 CPD, а также 4.2, 4.3.1, 4.3.2 и 5.2 пояснительного документа 1 (ID 1).

Национальное Приложение может содержать информацию лишь о тех параметрах, которые оставлены открытыми в Еврокоде для выбора на национальном уровне, известных как «Национально устанавливаемые параметры», используемых при проектировании и строительстве зданий и сооружений в конкретной стране, а именно:

- величины и/или классы, если в Еврокоде приведены альтернативные варианты;
- величины, если в Еврокоде приведен только символ;
- географические и климатические данные, характерные для страны-члена, например карта снежного покрова;
- используемые методы, если в Еврокоде приведены альтернативные методы.

Национальное Приложение также может содержать:

- рекомендации по применению справочных приложений;
- ссылки на дополнительную непротиворечивую информацию, предназначенную для содействия пользователю в применении Еврокода.

Связь между Еврокодами и гармонизированными техническими требованиями (EN и ЕТА) на изделия

Необходимо обеспечить соответствие между гармонизированными техническими требованиями на строительные изделия и техническими правилами производства строительных работ⁴⁾. Более того, вся информация, сопровождающая СЕ-маркировку строительных изделий, на которые дана ссылка в Еврокодах, должна четко указывать, какие национально устанавливаемые параметры были приняты при расчете.

Национальное Приложение для EN 1993-3-1

Европейский норматив содержит величины и отдельные альтернативные методы, отмеченные в примечаниях, на которые распространяется возможность выбора на национальном уровне. Поэтому национальный норматив, соответствующий EN 1993-3-1, должен иметь Национальное Приложение, содержащее все национально устанавливаемые параметры, предназначенные для проектирования стальных сооружений, возводимых на территории конкретной страны.

Национальный выбор допускается в следующих пунктах настоящего норматива:

- | | | | |
|--------------|-----------------------|---------------------------|------------------|
| — 2.1.1(3)Р; | — 5.2.4(1); | — В.2.1.1(5); | — D.1.2(2); |
| — 2.3.1(1); | — 6.1(1); | — В.2.3(1) Таблица В.2.1; | — D.3(6) 2 раза; |
| — 2.3.2(1); | — 6.3.1(16); | — В.3.2.2.6(4в); | — D.4.1(1); |
| — 2.3.6(2); | — 6.4.1(1); | — В.3.3(1); | — D.4.2(3); |
| — 2.3.7(1); | — 6.4.2(2); | — В.3.3(2); | — D.4.3(1); |
| — 2.3.7(4); | — 6.5.1(1); | — В.4.3.2.2(2); | — D.4.4(1); |
| — 2.5(1); | — 7.1(1); | — В.4.3.2.3(1); | — F.4.2.1(1); |
| — 2.6(1); | — 9.5(1); | — В.4.3.2.8.1(4); | — F.4.2.2(2); |
| — 4.1(1); | — А.1(1); | — С.2(1); | — G.1(3); |
| — 4.2(1); | — А.2(1) (2 позиции); | — С.6(1); | — H.2(5); |
| — 5.1(6); | — В.1.1(1); | — D.1.1(2); | — H.2(7). |

СВОД ПРАВИЛ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.**Часть 3-1. Башни, мачты и дымовые трубы. Башни и мачты**

DESIGN OF STEEL STRUCTURES**Part 3- 1. Towers, masts and chimneys. Towers and masts**

Дата введения 2015-07-01

1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**1.1 Область применения****1.1.1 Область применения Еврокода 3**

См. 1.1.1 EN 1993-1-1.

1.1.2 Область применения части 3-1 Еврокода 3

(1) Данная часть 3.1 EN 1993 применяется при проектировании конструкций решетчатых опор и мачт с оттяжками, а также при проектировании конструкций данного типа, несущих призматические, цилиндрические или иные плохообтекаемые элементы. Условия в отношении цилиндрических и конических опор свободностоящих и с оттяжками, дымовых труб приведены в Части 3.2 EN 1993. Условия в отношении оттяжек и конструкций с оттяжками, включая дымовые трубы с оттяжками, приведены в EN 1993-1-11 и дополнены в данной части.

(2) Положения данной части EN 1993 дополняют положения, приведенные в Части 1.

(3) Если применяемость положения ограничена, объясняется область его применения и указываются ограничения применения в целях практичности и упрощения.

(4) В данной части не рассматривается проектирование полигональных и цилиндрических осветительных столбов, рассматриваемое в EN 40. Решетчатые полигональные опоры также не рассматриваются в данной части. Нагрузка полигональных, усиленных листами опор может рассчитываться с применением данной Части. См. информацию о прочности таких опор – см. в EN 40.

(5) В данной части не рассматриваются специальные условия сейсмостойкого проектирования, приведенные в EN 1998-6.

(6) В данной части не рассматриваются специальные меры, которые могут понадобиться для ограничения последствий несчастных случаев. В отношении пожарной безопасности необходимо ссылаться на EN 1993-1-2.

(7) В отношении изготовления стальных опор и мачт необходимо ссылаться на EN 1090.

ПРИМЕЧАНИЕ Изготовление рассматривается в степени, необходимой для определения качества применяемых конструкционных материалов, а также стандарта качества работ на строительной площадке, который должен соответствовать допущениям правил проектирования.

1.2 Нормативные ссылки

Ниже приведенные нормативные документы содержат положения, которые, посредством ссылок в тексте, составляют условия данного Европейского норматива. Если приведена датированная ссылка на документ, то более поздние изменения или пересмотры этих публикаций не применяются. Однако приветствуется, чтобы стороны соглашений, подписанных на основе данного Европейского норматива, изучали возможность применения самых последних редакций указанных ниже нормативных документов. Если ссылка недатированная, то применяется последнее издание документа.

EN 40 «Осветительные столбы»

EN 365 «Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Общие требования к инструкциям по применению и обслуживанию, к периодической проверке, ремонту, маркировке и упаковке».

EN 795 «Защита от падения с высоты. Устройства анкерного крепления. Требования и испытания».

EN 1090 «Изготовление стальных и алюминиевых конструкций. Технические требования».

EN ISO 1461 «Горячее цинкование стальных и металлических изделий. Спецификации и методы испытаний».

EN ISO 14713 «Защита от коррозии железа и стали в конструкциях. Цинковые и алюминиевые покрытия. Руководство».

ISO 12494 «Обледенение строительных конструкций в результате атмосферного воздействия».

EN ISO 12944 «Коррозионная защита стальных конструкций с помощью защитных лакокрасочных систем».

1.3 Условия применения

(1) См. 1.3 EN 1993-1-1.

1.4 Различия между принципами и правилами проектирования

(1) См. 1.4 EN 1993-1-1.

1.5 Термины и определения

(1) В данной Части 3.1 EN 1993 применяются термины и определения, приведенные в 1.5 EN 1990 для общего использования в Еврокодах.

(2) Дополнительно к Части 1 EN 1993 в данной Части 3.1 используются следующие определения:

1.5.1 Общий анализ (global analysis): Определение согласующегося множества внутренних сил и моментов, действующих в конструкции, находящихся в равновесии с определенным множеством воздействий на конструкцию.

1.5.2 Башня (tower): Свободно стоящая решетчатая стальная консольная конструкция треугольной, квадратной или прямоугольной формы, или представляющая собой круглую или полигональную опору.

1.5.3 Мачта с оттяжками (gyed mast): Решетчатая стальная конструкция треугольной, квадратной или прямоугольной формы, или цилиндрическая стальная конструкция, стабилизированная с определенным интервалом по высоте с помощью оттяжек, закрепленных к грунту или к капитальному сооружению.

1.5.4 Ствол (shaft): Вертикальная стальная конструкция мачты.

1.5.5 Опорные стойки (leg members): Стальные элементы, формирующие основные несущие компоненты конструкции.

1.5.6 Основные связи жесткости (primary bracing members): Элементы помимо опорных стоек, выдерживающие воздействие сил, возникающих в результате нагрузок, действующих на конструкцию.

1.5.7 Вспомогательные связи жесткости (secondary bracing members): Элементы, используемые для уменьшения длины продольного изгиба других элементов.

1.5.8 Угловой профиль перепрессованный (schifflerized angles): Модифицированный 90° равнобокий горячекатаный уголок, каждая полка которого изогнута под углом 15° таким образом, что угол между наружной частью каждой полки и осью симметрии составляет 30° (см. Рисунок 1.1).

1.5.9 Аэродинамическое сопротивление (wind drag): Сопротивление потоку воздуха элементов башни или мачты с оттяжками и любых вспомогательных опорных приспособлений, рассчитанное на основе коэффициента сопротивления и расчетной площади строительства, включая обледенение при необходимости.

1.5.10 Линейный вспомогательный элемент (linear ancillary item): Любые ненесущие элементы, расположенные над несколькими панелями, такие, как волноводы, фидеры, лестницы и трубопроводы.

1.5.11 Отдельный вспомогательный элемент (discrete ancillary item): Любые ненесущие элементы, собранные на нескольких панелях, такие, как отражатели, антенны, системы освещения, платформы, поручни, изоляторы и другие изделия.

1.5.12 Расчетная площадь (projected area): Область тени рассматриваемого элемента, спроецированная на участок, параллельный плоскости конструкции, нормальной к действию ветра, включая лед при необходимости. Если плоскость конструкции ненормальна к действию ветра, вместо расчетной площади используется базовая торцевая поверхность (см. Приложение В).

1.5.13 Панель (башни или мачты) (panel (of tower or mast)): Любая подходящая панель башни или мачты, разделенная по вертикали с целью определения расчетной площади и аэродинамического сопротивления. Панели обычно, но необязательно, расположены между точками пересечения стоек и основных связей жесткости.

1.5.14 **Секция (башни или мачты)** (section (of tower or mast)): Любая часть башни или мачты, состоящая из нескольких сходных или одинаковых панелей, применяемая для определения аэродинамического сопротивления

1.5.15 **Оттяжка** (guy): Натяжной крепежный элемент, образующий систему растяжек, обеспечивающую горизонтальное крепление мачты на отдельных ярусах. Нижний конец оттяжки закрепляется к грунту или конструкции и включает, как правило, устройство регулировки натяжения оттяжки.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Хотя термины «оттяжка» и «распорка» обычно взаимозаменяемы, в данном документе используется слово «оттяжка».

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Специальные определения оттяжек, их структура и арматура приведены в Приложении D.

1.5.16 **Гаситель колебаний** (damper): Устройство, увеличивающее конструкционное демпфирование, ограничивая, таким образом, реакцию конструкции или оттяжки.

1.6 Обозначения

(1) В дополнение к терминам, приведенным в EN 1993-1-1, применяются следующие символы.

Латинские буквы прописные

D_b - диаметр окружности (через центр болтового отверстия)

D_i - диаметр опорной стойки

G - поправочный коэффициент ветрового напора

M - изгибающий момент

N - растягивающая сила, количество циклов

N_i - количество циклов

N_b - осевая сила

T - расчетный срок эксплуатации конструкции в годах

Латинские буквы строчные

b - ширина полки уголка

$c_e(z)$ - коэффициент подверженности воздействиям

$c_s c_d$ - коэффициент прочности конструкции

e - эксцентриситет

h - ширина полки уголка

k_p - коэффициент эффекта рычага

k_σ - коэффициент продольного изгиба

m - наклон кривой S-N

n - количество болтов

r_1 - радиус выпуклой части опоры

r_2 - радиус вогнутой части опоры

t - толщина

Греческие буквы прописные

ϕ - наклон оси мачты у основания

$\Delta\sigma_E$ - диапазон напряжений

Греческие буквы строчные

β_A - коэффициент эффективной площади

γ_M - частный коэффициент

δ_S - логарифмический декремент конструкционного демпфирования

ε - коэффициент, зависящий от f_y

$\bar{\lambda}$ - параметр безразмерной гибкости, коэффициент эквивалентности

$\bar{\lambda}_p$ - безразмерная гибкость при продольном изгибе листа

$\bar{\lambda}_{p,1}$ - параметр безразмерной гибкости при продольном изгибе листа полки 1 уголка

$\bar{\lambda}_{p,2}$ - параметр безразмерной гибкости при продольном изгибе листа полки 2 уголка

ρ - коэффициент уменьшения

(2) Определение дополнительных применяемых символов приводится при их первом упоминании.

1.7 Условные обозначения осей поперечного сечения

(1) Условные обозначения осей уголковых профилей, принятые в данной части EN 1993, соответствуют указанным на Рисунке 1.1.

ПРИМЕЧАНИЕ Это устраняет путаницу при утверждении различных условных обозначений горячекатаных и холодногнутых уголков.

(2) Условные обозначения осей составных элементов приведены на Рисунке 6.12 EN 1993-1-1.

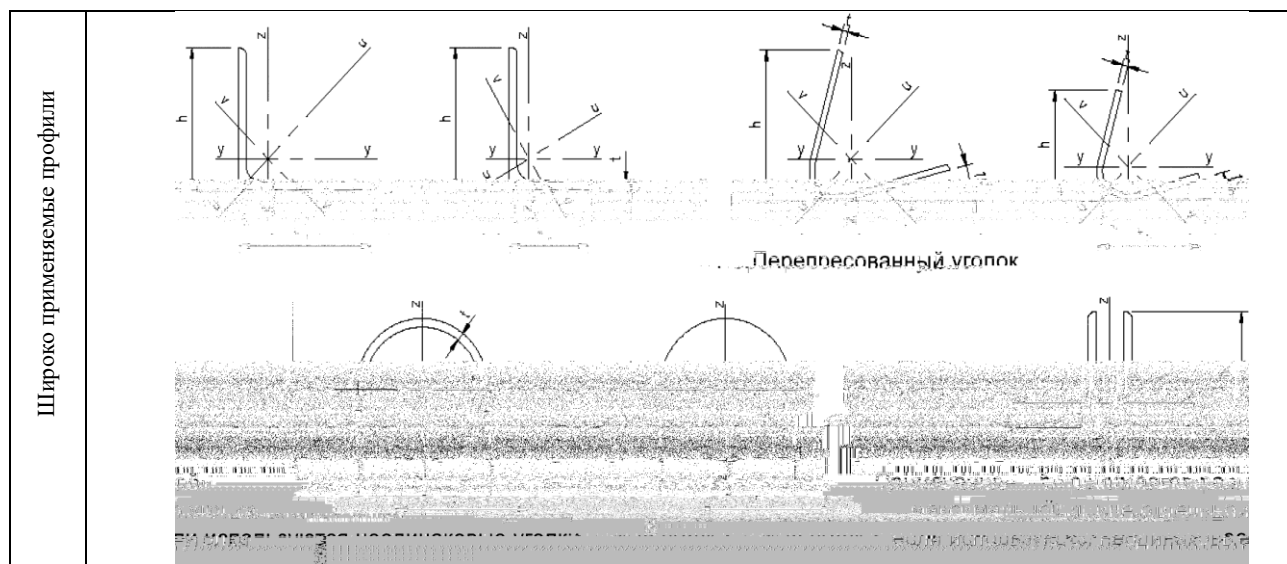




Рисунок 1.1 — Размеры и оси сечений

2 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1 Требования

2.1.1 Основные требования

(1)Р Проектирование стальных башен и мачт с оттяжками должно соответствовать общим правилам, приведенным в EN 1990.

(2) Также необходимо применять дополнительные условия проектирования стальных конструкций, приведенные в EN 1993-1-1.

(3)Р Кроме того, мачты с оттяжками высокой надежности (согласно определению в 2.1.2) рассчитываются таким образом, чтобы можно было избежать потери устойчивости при разрыве одной оттяжки.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена информация о разрыве оттяжки. Рекомендуется использовать руководство, изложенное в Приложении Е.

2.1.2 Обеспечение надежности

(1) Могут быть приняты различные уровни надежности при проверке критического предельного состояния башен и мачт в зависимости от возможных экономических и социальных последствий их разрушения.

ПРИМЕЧАНИЕ Определение различных уровней надежности — см. в Приложении А.

2.2 Принципы расчета по предельным состояниям

(1) См. 2.2 EN 1993-1-1.

2.3 Воздействия и влияния окружающей среды

2.3.1 Действие ветра

(1) Действие ветра — см. в EN 1991-1-4.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть указано, каким образом можно дополнить EN 1991-1-4 информацией о башнях и мачтах. Рекомендуется использовать дополнительные правила, изложенные в Приложении В.

2.3.2 Гололедная нагрузка

(1) Действие гололеда необходимо рассматривать в отношении его влияния как на центр тяжести, так и на ветровую нагрузку.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении могут быть приведены данные о гололедной нагрузке, соответствующей толщине льда, плотности и распределению, а также надлежащие сочетания воздействий от ветра и гололеда на башни и мачты. Рекомендуется использовать Приложение С.

2.3.3 Тепловое воздействие

(1) Тепловое воздействие определяется в соответствии с EN 1991-1-5 на основе температур окружающей среды.

2.3.4 Собственный вес

(1) Собственный вес определяется в соответствии с EN 1991-1-1.

(2) Собственный вес оттяжек определяется в соответствии с EN 1993-1-11.

2.3.5 Начальные натяжения оттяжек

(1) Начальные натяжения оттяжек должны рассматриваться как постоянно действующие силы в оттяжках при отсутствии воздействия метеорологических факторов, см. EN 1993-1-11.

(2) Необходимо обеспечить регулировку начальных натяжений оттяжек. В противном случае при проектировании необходимо предусмотреть надлежащие допуски для всего возможного диапазона начальных натяжений -см. EN 1993-1-11.

2.3.6 Временные нагрузки

(1) Элементы, расположенные под углом до 30° к горизонтали, должны проектироваться таким образом, чтобы они выдерживали вес работника, который в этих целях может приниматься за сосредоточенную вертикальную нагрузку 1 кН.

(2) Необходимо учитывать временные нагрузки на площадки и ограждения.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 В Национальном Приложении могут быть приведены данные о временных нагрузках на площадки и ограждения. Рекомендуются следующие характеристические временные нагрузки:

- | | | |
|--|-----------------------|-----------|
| — временная нагрузка на площадки: | 2,0 кН/м ² | ...(2.1a) |
| — горизонтальная нагрузка на ограждения: | 0,5 кН/м | ...(2.1б) |

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Допускается, что эти нагрузки действуют при отсутствии других климатических нагрузок.

2.3.7 Другие воздействия

- (1) Аварийные и ударные воздействия -см EN 1991-1-7.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении могут быть приведены данные о выборе аварийных воздействий.

- (2) Воздействия при изготовлении должны рассматриваться с учетом конструкционной схемы. Соответствующие сочетания нагрузок и коэффициенты уменьшения –см. в EN 1991-1-6.

ПРИМЕЧАНИЕ Может быть рассмотрено ограниченное время для переходных расчетных ситуаций.

- (3) Необходимо произвести оценку осадки фундамента, где таковая считается необходимой. Может потребоваться особое рассмотрение решетчатых башен на свайных основаниях, а также неравномерной осадки фундаментов мачты и оттяжек.

- (4) Воздействие в результате крепления и анкеровки оборудования для оценки безопасности можно определить в соответствии с EN 795. Если предлагаемый безопасный метод работы требует применения системы рабочего позиционирования или мобильных систем защиты от падения с высоты, точки их крепления должны быть надлежащими, см. EN 365.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация.

2.3.8 Распределение воздействий

- (1) Необходимо учитывать нагрузки по длине элемента, включая ветровые, или собственный вес конструкции, включая постоянные нагрузки на другие закрепленные к нему элементы.

2.4 Проверки по критическому предельному состоянию

- (1) Расчетные значения воздействий и коэффициенты сочетания нагрузок –см в EN 1990.

ПРИМЕЧАНИЕ См. Частные коэффициенты по нагрузке для критического предельного состояния –см. в Приложении А.

(2) Частные коэффициенты нагрузки от собственного веса и начального натяжения оттяжек должны соответствовать приведенным в EN 1993-1-11.

2.5 Проектирование на основании результатов испытаний

(1) Необходимо выполнять общие требования, определенные в EN 1990, а также особые требования, изложенные в Разделе 8 данной Части 3.1 EN 1993.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация в отношении конструкций или элементов, подлежащих испытаниям по согласованной полномасштабной программе –см. 6.1.

2.6 Долговечность

(1) Прочность должна соответствовать оценке усталости (см. Раздел 9) и соответствующей антикоррозионной защите (см. Раздел 4).

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация по расчетному сроку эксплуатации конструкции. Рекомендуется срок эксплуатации 30 лет.

3 МАТЕРИАЛЫ

3.1 Конструкционная сталь

(1) Требования к конструкционной стали и ее характеристики –см. в EN 1993-1-1 и EN 1993-1-3.

(2) Требования по ударной вязкости –см. в EN 1993-1-10.

3.2 Соединения

(1) См. требования к болтам и расходным материалам для сварки, а также их характеристики –см. в EN 1993-1-8.

3.3 Оттяжки и арматура

(1) Требования к тросам, кабелям, проволоке и арматуре, а также их характеристики –см. в EN 1993-1-11.

ПРИМЕЧАНИЕ Дополнительно -см. Приложение D.

4 ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

4.1 Допуски на коррозию

(1) Необходимо обеспечить надлежащую антикоррозионную защиту в зависимости от расположения конструкции, срока эксплуатации и режима техобслуживания.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 См. также:

- EN ISO 1461 — цинкование;
- EN ISO 14713 — напыление металла;
- EN ISO 12944 — коррозионная защита с помощью окраски.

4.2 Оттяжки

(1) Руководящие положения по коррозионной защите оттяжек –см. в EN 1993-1-11.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация. Рекомендуются следующие способы защиты:

В зависимости от условий окружающей среды тросы оттяжек изготавливаются из оцинкованных стальных проволок, на которые необходимо наносить еще один защитный слой (смазка или краска). Особое внимание следует обратить на обеспечение совместимости такого защитного слоя со смазочными материалами, применяемыми при производстве тросов.

В качестве альтернативного защитного средства для оцинкованных стальных канатов диаметром до 20 мм можно применять полипропиленовую пропитку. В этом случае дополнительной защиты не требуется, если при возведении и эксплуатации не повреждена оболочка. Необходимо при проектировании обратить внимание на концевые соединения в целях обеспечения надлежащей коррозионной защиты. Неимпрегнированные тросы в оболочке не следует применять из-за риска несвоевременного выявления коррозии.

Полипропиленовое покрытие может быть повреждено молнией.

5 РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ

5.1 Моделирование с целью определения результатов воздействий

(1) Внутренние силы и моменты необходимо определять, используя общий расчет в упругой стадии.

(2) Общий расчет в упругой стадии –см. EN 1993-1-1.

(3) В расчете можно использовать характеристики сечений брутто.

(4) Необходимо учитывать характеристики деформации оснований при проектировании конструкции.

(5) Если деформация оказывает существенное воздействие (например, в башнях с большой нагрузкой вершины), следует применять теорию второго порядка -см. EN 1993-1-1.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 На начальной стадии решетчатые опоры можно рассчитывать, используя исходные геометрические данные (теория первого порядка).

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Расчет мачт и дымовых труб с оттяжками производится с учетом воздействия деформаций в условиях равновесия (теория второго порядка).

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Общую устойчивость симметричных мачт –см. в В.4.3.2.6.

(6) Общий расчет мачт и дымовых труб с оттяжками производится с учетом нелинейных характеристик оттяжек -см. EN 1993-1-11.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация.

5.2 Моделирование соединений

5.2.1 Основные положения

(1) В общем и детальных расчетах конструкции необходимо учитывать характеристики соединений.

ПРИМЕЧАНИЕ Порядок расчета соединений приведен в EN 1993-1-8.

5.2.2 Полностью триангулированные конструкции (фермы с треугольной решеткой)

(1) Возможно допущение, что в фермах с треугольной решеткой соединения элементов не развивают моменты. В общем анализе можно допустить, что элементы эффективно закреплены болтовым (шарнирным) соединением.

(2) Соединения должны соответствовать требованиям к номинально болтовым (шарнирным) соединениям:

- как указано в 5.2.2.2 EN 1993-1-8 или
- как указано в 5.2.3.2 EN 1993-1-8.

5.2.3 Нетриангулированные конструкции (неразрезные рамы)

(1) Анализ упругих деформаций должен основываться на допущении полной неразрезности, жестких соединений, соответствующих требованиям п. 5.2.2.3 EN 1993-1-8.

5.2.4 Триангулированные конструкции с учетом неразрезности (неразрезные или полунрезные фермы)

(1) Анализ упругих деформаций должен основываться на точно предсказуемых расчетных характеристиках «момент-поворот» или «сила-смещение» для используемых соединений.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация.

6 КРИТИЧЕСКИЕ ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ

6.1 Общие положения

(1) Применяются следующие частные коэффициенты: γ_M :

- сопротивление элемента текучести: γ_{M0}
- сопротивление элемента устойчивости: γ_{M1}
- сопротивление сечения нетто у болтовых отверстий: γ_{M2}
- сопротивление соединений: см. Раздел 6.4
- сопротивление оттяжек и их креплений: γ_{Mg} , см. EN 1993-1-11
- сопротивление изоляционных материалов: γ_{Mi}

ПРИМЕЧАНИЕ 1 В Национальном Приложении могут быть определены частные коэффициенты γ_M . Рекомендуются следующие численные значения:

- $\gamma_{M0} = 1,00$
- $\gamma_{M1} = 1,00$
- $\gamma_{M2} = 1,25$
- $\gamma_{Mg} = 2,00$
- $\gamma_{Mi} = 2,50$

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Коэффициент γ_{Mg} применяется в отношении оттяжки и соединительной муфты (или иного крепления). Соответствующие стальные штыри, соединения и плиты проектируются с учетом совместимости с оттяжкой и муфтой, поэтому может потребоваться увеличенное значение γ_{Mg} . Более подробно – см. в EN 1993-1-11.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 В отношении конструкций или элементов, подлежащих типовым испытаниям, или аналогичных конфигураций, которые прошли предварительные испытания, коэффициент γ_M можно уменьшить в зависимости от результатов программы испытаний.

6.2 Несущая способность сечений

6.2.1 Классификация сечений

(1) В отношении мачт и башен применяется классификация сечений, приведенная в 5.5.2 EN 1993-1-1.

ПРИМЕЧАНИЕ Максимальное соотношение «ширина-толщина» c/t для уголков, указанное в Таблице 5.2 EN 1993-1-1, может быть определено соотношением $(h - 2t)/t$ вместо h/t .

6.2.2 Элементы решетчатых опор и мачт

(1) Специальные условия в отношении уголков, соединенных одной полкой, приведены в EN 1993-1-8 п.3.10.3 (болтовое соединение) или п.4.13 (сварное соединение).

6.2.3 Оттяжки и арматура

(1) Прочность оттяжек и арматуры – см. в EN 1993-1-11 и в Приложении D.

6.3 Несущая способность элементов

6.3.1 Сжатые элементы

(1) Проектирование сжатых элементов решетчатых опор и мачт производится с использованием одного из двух следующих способов:

- а) метод в соответствии с условиями Приложений G и H;
- б) метод, приведенный в EN 1993-1-1, с учетом эксцентриситетов.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Метод, приведенный в EN 1993-1-1, п. ВВ.1.2(2)В Приложения ВВ, может давать консервативные (с запасом) результаты сопротивления продольному изгибу элементов решетчатых опор и мачт.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 В Национальном Приложении может быть сделан выбор метода.

(2) Характеристики эффективного сечения элементов необходимо рассчитывать согласно п. 4.3. EN 1993-1-5.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Коэффициент уменьшения ρ для уголка можно определить на основе гибкости $\bar{\lambda}_p$ с учетом надлежащей ширины \bar{b} сжатой полки следующим образом:

а) равнобокий уголок:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28.4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{(h - 2t)/t}{28.4\epsilon\sqrt{k_\sigma}};$$

б) неравнобокий уголок:

$$\bar{\lambda}_{p,1} = \frac{\bar{b}/t}{28.4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{(h - 2t)/t}{28.4\epsilon\sqrt{k_\sigma}};$$

и

$$\bar{\lambda}_{p,2} = \frac{\bar{b}/t}{28.4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = \frac{(b - 2t)/t}{28.4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}.$$

ПРИМЕЧАНИЕ 2 В случае уголков, соединенных одной полкой, коэффициент уменьшения ρ применяется только в отношении присоединенной полки.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Коэффициент k_{σ} —см. в EN 1993-1-5. Для полки сжатого уголка $k_{\sigma} = 0,43$.

(3) Крутильная и/или крутильно-изгибная потеря устойчивости подлежат проверке следующим способом:

а) На крутильную потерю устойчивости равнобоких уголков распространяется проверка потери устойчивости пластинки, см. п. (2)

б) См. Данные о разнобоких уголках и других сечениях —см. в 6.3.1.4 EN 1993-1-1 и EN 1993-1-3 .

(4) Данные о холодногнутых тонкостенных элементах —см. в EN 1993-1-3.

6.4 Соединения

6.4.1 Общие положения

(1) См. Данные о соединениях —см. в EN 1993-1-8.

ПРИМЕЧАНИЕ Частные коэффициенты для соединений в мачтах и башнях могут быть приведены в Национальном Приложении. Рекомендуются численные значения, приведенные в Таблице 2.1 EN 1993-1-8.

(2) Все болты должны быть защищены от ослабления.

6.4.2 Фланцевые соединения

(1) При поперечном растяжении фланцевого соединения, необходимо использовать болты с предварительным натяжением.

(2) Минимальный диаметр болта должен составлять 12 мм.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении могут быть приведены дополнительные данные о фланцевых соединениях труб и цилиндрических оболочек.

При определении толщины фланца важно определить следующие значения:

а) сопротивление сдвигу фланца по периметру круглого сечения;

б) сопротивление комбинированному сдвигу и изгибу фланца по окружности болтового отверстия. Изгибающий момент (М) может быть принят равным:

$$M = N (D_b - D_i) / 2$$

где

N — сила растяжения в опорной стойке

D_b — диаметр окружности (через центр болтового отверстия)

D_i — диаметр опорной стойки

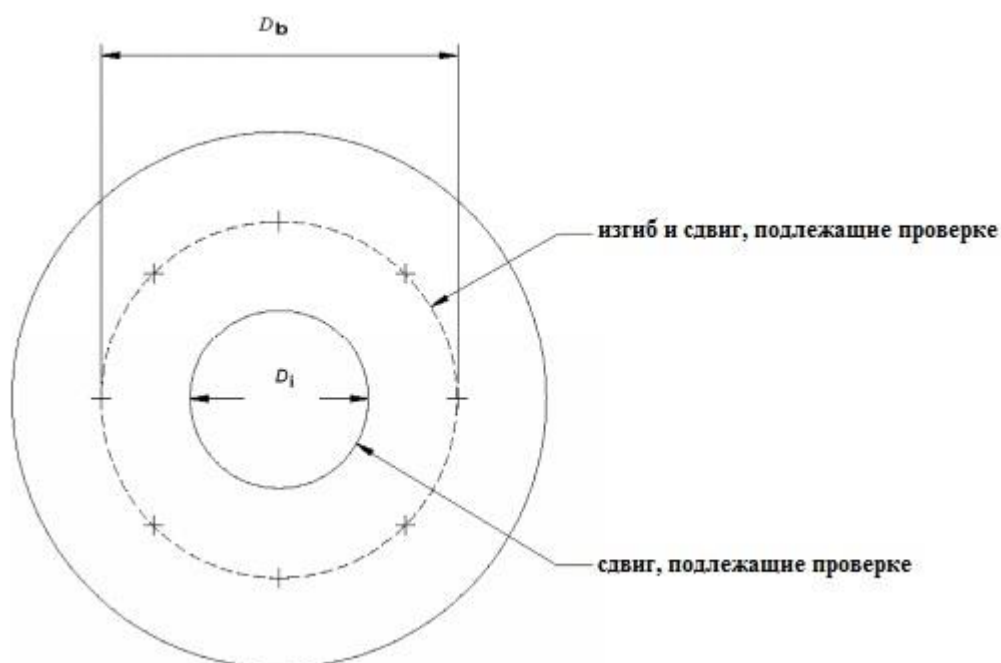


Рисунок 6.1 — Болтовое фланцевое соединение

При определении сил, действующих на болты, осевая сила N_b

$$N_b = \frac{Nk_p}{n}$$

где

n — количество болтов

k_p — коэффициент эффекта рычага, принятый, как:

$k_p = 1,2$ для болтов с предварительным натяжением

$k_p = 1,8$ для болтов без предварительного натяжения

Все болты должны быть с предварительным натяжением при оценке усталости -см. EN 1993-1-8.

6.4.3 Анкерные болты

(1) Если должна оцениваться усталость, необходимо предварительное натяжение анкерных болтов. В таких случаях должны применяться надлежащие марки стали -см. EN 1993-1-8.

ПРИМЕЧАНИЕ По выбору предварительного натяжения см. также правила эксцентриситета силы рычага, уровни напряженности и т.д. в EN 1993-1-8.

6.4.4 Сварные соединения

(1) См. EN 1993-1-8.

ПРИМЕЧАНИЕ Информацию по изготовлению — см. в EN 1090.

6.5 Специальные соединения для мачт

6.5.1 Крепление основания мачты

(1) Расчетное напряжение смятия сферического шарнирного соединения должно основываться на нормах проектирования шарнирных опор — см. EN 1337-6.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении могут быть приведены дополнительные данные по эксцентриситетам и предельным значениям давления Герца.

Для проверки соответствия площади зоны сжатия границам опорных деталей, учитывая истинное значение угла поворота секции основания мачты (см. Рисунок 6.2) и определения изгибающих моментов, вызванных результирующими эксцентриситетами, при проектировании опоры и нижней секции мачты рекомендуется применять следующие нормы проектирования при определении эксцентриситетов:

Если основание мачты установлено на шаровой опоре, следует принять допущение, что точка контакта перемещается в направлении любого наклона оси мачты, поворачиваясь по опорной поверхности.

Эксцентриситеты e_u и e_o (см. Рисунок 6.2) определяются следующим образом:

$$e_u = r_1 \times \sin \psi_1; \quad (6.12a)$$

$$e_o = r_2 (\sin \psi_1 - \sin \phi). \quad (6.12b)$$

где

r_1 — радиус выпуклой части опоры

r_2 — радиус вогнутой части опоры

и $r_2 > r_1$

ϕ — наклон оси мачты у основания

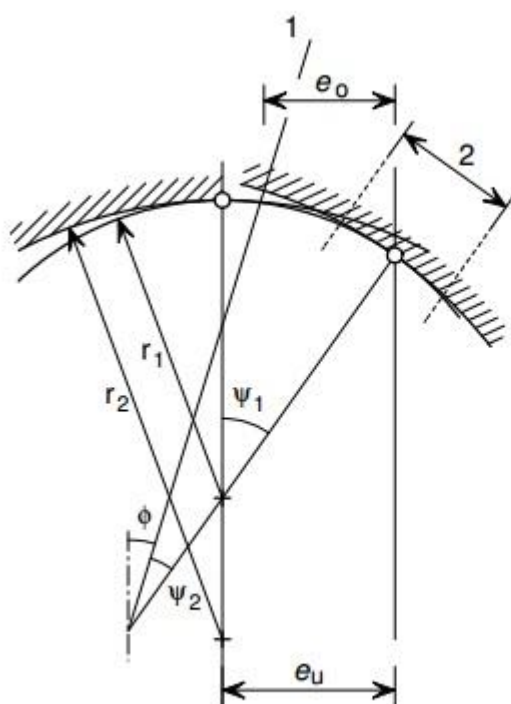
при

$$\psi_1 = \frac{r_2 \phi}{r_2 - r_1}; \quad (6.13a)$$

$$\psi_2 = \psi_1 - \phi. \quad (6.13b)$$

Если радиус r_2 бесконечный, то это плоская поверхность, тогда значение e_o принимается равным:

$$e_o = r_1 \phi \cos \phi.$$



1 — ось мачты; 2 — площадь зоны сжатия

Рисунок 6.2 — Эксцентриситеты, вызванные наклоном основания мачты

(2) Расчет системы подавления скручивания шарнирного соединения основания мачты должен обеспечивать поворот секции основания мачты по горизонтальной оси.

(3) При проектировании мачты необходимо учитывать возможную осадку фундамента ствола и фундаментов оттяжек в случае мачт с жестко заделанным фундаментом.

6.5.2 Крепление оттяжек

(1) Все соединения оттяжек к мачте или фундаментам оттяжек должны обеспечивать свободный поворот оттяжек в горизонтальном и вертикальном направлении, см. EN 1993-1-11.

При проектировании и конструировании соединений необходимо учитывать склонность конструкций с оттяжками к скручиванию под воздействием растягивающей нагрузки.

ПРИМЕЧАНИЕ Как правило, надлежащая степень свободы горизонтального поворота шарнирных соединений может быть достигнута применением «сферической» формы отверстия под стержень шарнира в пяте. Шаровые опоры могут использоваться в исключительных обстоятельствах.

(2) Все стержни должны быть надлежащим образом закреплены по избежание бокового перемещения при использовании, например, гайкой со шплинтом.

(3) Планку для крепления оттяжки на мачте, а также стальную анкерную плиту фундамента крепления оттяжки необходимо проектировать с учетом поперечного воздействия оттяжки из-за ветровой нагрузки, нормальной к плоскости оттяжки.

(4) Где возможно, необходимо конструировать соединения, обеспечивающие проведение визуального неразрушительного контроля при эксплуатации.

7 ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ

7.1 Общие положения

(1) При проектировании большое значение имеют следующие предельные состояния по эксплуатационной пригодности:

- отклонения и повороты, оказывающие негативное воздействие на эффективную эксплуатацию конструкции, включая надлежащее функционирование антенн или обслуживание;
- вибрация, колебания, вызывающие потерю передаваемого сигнала;
- деформация, отклонения, вибрация, колебания, вызывающие повреждение несущих элементов.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении могут быть приведены данные о предельных и объединенных значениях γ_M . Рекомендуется значение $\gamma_M = 1,0$.

7.2 Деформация и повороты

7.2.1 Требования

(1) Максимальные деформации и повороты необходимо определять, используя сочетание характеристических воздействий на конструкцию и вспомогательные устройства.

(2) Отклонения и повороты для мачт и дымовых труб необходимо рассчитывать с учетом воздействий второго порядка (см. EN 1993-1-1) и динамических воздействий.

7.2.2 Определение предельных значений

(1) Определение предельных значений производится совместно с рассматриваемым расчетным случаем.

ПРИМЕЧАНИЕ См. Мачты с оттяжками – см. в Приложении В.

(2) В отношении вещательных и осветительных конструкций за рассматриваемые предельные значения принимаются значения горизонтального смещения и поворота верхней части конструкции. Предельные значения для направленных антенн устанавливаются в точке крепления направленной антенны.

7.3 Вибрации

(1) Башни и мачты необходимо проверять на предмет:

- вибраций, вызванных порывами ветра (вызывающими вибрации в направлении ветра);
- вибраций, вызванных вихревыми потоками, в мачтах или башнях с призматическими, цилиндрическими или раскосными элементами или оболочкой (вызывающими вибрации перпендикулярно направлению ветра);
- прогрессирующей неустойчивости (вызывающей вибрации оттяжек);
- вибраций, вызванных воздействием ветра и дождя.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Динамические воздействия – см. в EN 1991-1-4 и Приложении В, а также в Приложении В EN 1993-3-2.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Вибрации могут вызвать быстрое развитие усталостных повреждений – см. Раздел 9.

(2) Если прогнозируется, что решетчатые опоры и мачты, или дымовые трубы с оттяжками будут подвергаться вибрациям, вызванным ветром (если при проектировании не будут предприняты иные меры для их снижения), при необходимости следует предусмотреть установку виброгасителей, исходя из опыта.

ПРИМЕЧАНИЕ Дополнительно – см. Приложение В EN 1993-3-2.

8 ПРОЕКТИРОВАНИЕ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

(1) Необходимо выполнять условия проектирования в комплексе с испытаниями, приведенные в EN 1990.

(2) Если значения логарифмического декремента конструкционного демпфирования δ_s , приведенные в EN 1991-1-4, считаются неподходящими для решетчатых опор и мачт, состоящих из цилиндрических элементов, поддерживающих или содержащих таковые, можно произвести испытания для определения таких значений.

ПРИМЕЧАНИЕ Руководящие положения по определению δ_s приведено в Приложении D EN 1993-3-2.

(3) Типы колебаний более высокого порядка, чем основные, могут иметь важное значение, в частности, для мачт с оттяжками. Это необходимо учитывать при определении надлежащего логарифмического декремента конструкционного демпфирования.

(4) Необходимо также учитывать тот факт, что частота колебаний может меняться в соответствии с условиями нагружения, рассматриваемыми, к примеру, в безветрие или при гололедной нагрузке.

9 ОЦЕНКА УСТАЛОСТИ

9.1 Общие положения

- (1) При проверке на усталость применяются положения EN 1993-1-9.
- (2) Необходимо рассмотреть влияние наличия вторичных моментов в решетчатых опорах и мачтах на усталостную прочность, которые еще не учтены.

9.2 Усталостное нагружение

9.2.1 Линейные колебания

- (1) Нет необходимости в определении усталостного нагружения решетчатых башен из-за линейных колебаний (без учета колебаний, вызванных боковым ветром) в результате воздействия порывистого ветра.

ПРИМЕЧАНИЕ Для мачт с оттяжками, категория деталей элементов которых превышает 71 Н/мм², усталостная долговечность конструкций, подверженных линейным колебаниям (без учета колебаний, вызванных боковым ветром) в результате воздействия порывистого ветра, может быть больше 50 лет.

- (2) В других случаях необходимо обратить особое внимание на утвержденные детали и предпринятую проверку на усталость.

ПРИМЕЧАНИЕ Проверку на усталость из-за линейных колебаний – см. в EN 1991-1-4. Можно использовать следующий упрощенный метод:

а) Оценка истории усталостного нагружения, вызванного порывистым ветром, производится путем определения ежегодной продолжительности действия средней скорости ветра различных направлений на основе метеорологических отчетов в районе строительной площадки. Затем предполагается, что колебания средней скорости имеют статически нормальное распределение со стандартным отклонением напряжения, соответствующего $G/4$ раза напряжению, вызванному ветром средней скорости. Надлежащий поправочный коэффициент ветрового напора можно определить следующим образом:

$$G = c_e(z)c_s c_d - 1, \text{ где}$$

$c_e(z)$ — коэффициент подверженности воздействиям, см. EN 1991-4

$c_s c_d$ — коэффициент прочности конструкции, см. EN 1991-4, выведенный в соответствии с Приложением В.

б) Допускается, что диапазон напряжений $\Delta\sigma_i$ может быть в 1,1 раза больше разности напряжения в результате включения поправочного коэффициента ветрового напора G и напряжения в результате воздействия ветра средней скорости в течение 10 минут. Эквивалентное количество циклов N_i можно рассчитать по формуле:

$$N_i = 10^5 T / 50; \tag{9.1}$$

где

T — расчетный срок эксплуатации конструкции в годах.

9.2.2 Вибрации, вызванные вихреобразованием при боковом ветре

(1) Усталостное нагружение башен и мачт с оттяжками, состоящих из призматических, цилиндрических или раскосных элементов, поддерживающих или содержащих такие, определяется на основе максимальной амплитуды при соответствующем виде колебаний и количестве циклов нагружения N .

ПРИМЕЧАНИЕ Усталостные воздействия – см. в Приложении Е EN 1991-1-4.

9.2.3 Реакция отдельных элементов

(1) Необходимо произвести оценку воздействия бокового ветра на отдельные гибкие элементы.

ПРИМЕЧАНИЕ Усталостные воздействия – см. в Приложении Е EN 1991-1-4. Ограничения гибкости приведенные в Приложении Н 3.2(1) и Н.3.1(3), как правило, достаточны для предотвращения такого воздействия. Увеличение демпфирования колебаний (трение, дополнительные гасители колебаний) является практическим средством подавления таких колебаний в случае их возникновения.

9.3 Усталостная прочность

(1) Необходимо ссылаться на положения EN 1993-1-9, в который включена усталостная прочность типовых элементов башен, дымовых труб и мачт с оттяжками.

9.4 Оценка безопасности

(1) Оценка безопасности усталости должна быть произведена согласно 8(2) EN 1993-1-9, с использованием формулы:

$$\Delta\sigma_{E2} = \lambda \Delta\sigma_E, \quad (9.2)$$

где

λ — коэффициент эквивалентности для перевода $\Delta\sigma_E$ на $N_c = 2 \times 10^6$ циклов;

$\Delta\sigma_E$ — диапазон напряжений, связанный с N циклов (см. 9.2), с учетом коэффициента концентрации напряжений, где необходимо.

(2) Коэффициент эквивалентности λ можно определить следующим образом:

$$\lambda = \left(\frac{N}{2 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (9.3)$$

где

m — наклон кривой S-N.

9.5 Частные коэффициенты для оценки усталости

(1) Частные коэффициенты для оценки усталости должны соответствовать указанным в 3(6) и (7), а также 6.2(1) EN 1993-1-9.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении могут быть приведены численные значения γ_{Ff} и γ_{Mf} . Рекомендуется $\gamma_{Ff} = 1,00$. Значения γ_{Mf} – см. в Таблице 3.1 EN 1993-1-9.

9.6 Усталость оттяжек

(1) Проверка усталостного поведения оттяжек производится в порядке, приведенном в EN 1993-1-11.

Приложение А
(обязательное)

Дифференциация надежности и частные коэффициенты воздействий

ПРИМЕЧАНИЕ В данном Приложении рассматривается дифференциация надежности и частные коэффициенты воздействий для башен и мачт, предполагается включение этих данных в Приложение А EN 1990 на более позднем этапе.

А.1 Классификация надежности мачт и башен

(1) Дифференциацию надежности можно применять в отношении мачт и башен путем использования классов надежности.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении могут быть приведены классы надежности, на основе последствий разрушения конструкции. Рекомендуется применять классы, приведенные в Таблице А.1.

Таблица А.1 — Классификация надежности мачт и башен

Класс надежности	
3	Башни и мачты, возведенные в населенных пунктах, или в местах, где их разрушение может вызвать травмирование или гибель людей; башни и мачты, используемые для жизненно важного телекоммуникационного оборудования; другие конструкции, последствия разрушения которых могут быть значительными
2	Все мачты и башни, которые нельзя отнести к классам 1 или 3
1	Мачты и башни, возведенные в нежилых районах на открытой местности

А.2 Частные коэффициенты по нагрузке

(1)Р Частные коэффициенты по нагрузке должны зависеть от класса надежности башни или мачты.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 При выборе частных коэффициентов постоянных воздействий γ_G и переменных воздействий γ_Q для расчета можно принять во внимание преобладание действия ветра.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 В Национальном Приложении могут быть приведены численные значения γ_G и γ_Q . При использовании классов надежности, приведенных в Таблице А.1, рекомендуется применять численные значения γ_G и γ_Q , указанные в Таблице А.2.

Таблица А.2 Частные коэффициенты постоянных и переменных воздействий

Тип воздействия	Класс надежности, см. Примечание к п. 2.1.2	Постоянные воздей- ствия	Переменные воздей- ствия (Q_s)
Неблагоприятные	3	1,2	1,6
	2	1,1	1,4
	1	1,0	1,2
Благоприятные	Все классы	1,0	0,0
Случайные обстоятельства		1,0	1,0

ПРИМЕЧАНИЕ 3 В Национальном Приложении может быть также приведена информация об использовании расчета динамических характеристик в отношении ветровой нагрузки -см. Приложение В.

Приложение В
(информационное)

Моделирование атмосферных воздействий

ПРИМЕЧАНИЕ В данном Приложении рассматриваются дополнительные правила по ветровой нагрузки на решетчатые башни, мачты с оттяжками и дымовые трубы с оттяжками и их характеристики. Предполагается включение этих данных в EN 1991-1-4 на более позднем этапе.

В.1 Общие положения

В.1.1 Область действия данного Приложения

(1) В данном Приложении приведена следующая дополнительная информация о ветровой нагрузке на башни и мачты с оттяжками:

- ветровая нагрузка -см. В.2;
- характеристики решетчатых башен -см. В.3;
- характеристики мачт с оттяжками -см. В.4.

ПРИМЕЧАНИЕ В данном Приложении приведена ссылка на ISO 12494 в отношении гололедной нагрузки. В Национальном Приложении может быть также приведена дополнительная информация.

В.1.2 Обозначения

(1) В дополнение к обозначениям, приведенным в EN 1993-1-1 и EN 1991-1-4, в данном Приложении могут использоваться следующие:

- i - режим нагрузки
- K - коэффициент
- L - длина проекции, длина пояса фермы
- N - количество
- Q - параметр
- S - воздействие нагрузки на элемент (например, силы, сдвига или изгиба)
- T - крутящий момент
- α - угол наклона оттяжки к горизонтали
- β - параметр
- η - коэффициент экранирования
- θ - угол воздействия ветра к нормали в плоскости; наклон
- τ - константа
- ψ - угол воздействия ветра к продольной оси
- ω - соотношение шага несущей конструкции
- k_s - коэффициент масштабирования

(2) В дополнение к подстрочным знакам, приведенным в EN 1993-1-1 в данном Приложении используются следующие:

- A - вспомогательный элемент
- C - консоль
- c - элементы с круглым сечением
- e - эффективный
- F - грань
- f - элементы с плоским сечением
- G - оттяжка
- H - высота мачты
- L - длина
- M - основание мачты или мачта
- m - мачта, средний
- n - одиночная рама
- PL - патч-нагрузка (зональная нагрузка)
- p - патч
- q - сдвиг
- S - конструкция
- S_{up} - сверхкритический
- T - башня, общий
- W - в направлении ветра
- w - под действием ветра
- x - в направлении бокового ветра
- Z - в вертикальном направлении
- z - высота z над уровнем грунта
- θ - угол воздействия ветра

В.2 Ветровая нагрузка

В.2.1 Общие положения

В.2.1.1 Основные принципы

(1) В целях расчета воздействия ветра конструкция должна быть разделена на секции, состоящие из нескольких идентичных или практически идентичных панелей -см. Рисунки В.2.1. Проекция связей жесткости на гранях, параллельных направлению ветра, в плане и диагональных связей жесткости необходимо опустить при определении расчетной площади конструкции.

(2) Конструкцию необходимо разделить на достаточное количество секций для надлежащего моделирования ветровой нагрузки в целях общего расчета.

(3) Воздействие ветра, действующего на секцию или элемент, необходимо определять согласно 5.3(2) EN 1991-1-4.

(4) При определении ветровой нагрузки в условиях гололеда расчетные площади конструктивных элементов и вспомогательных приспособлений должны быть увеличены с учетом поправки на толщину льда, если необходимо.

(5) При использовании метода, приведенного в данном Приложении, в пределах угла $\pm 30^\circ$ к номинальному направлению ветра необходимо использовать максимальную силу для получения максимальной нагрузки в направлении ветра.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении могут быть приведены данные об испытаниях в аэродинамической трубе.

В.2.1.2 Метод

(1) Метод, приведенный в В.2.1.3, следует использовать для определения ветровой нагрузки на решетчатые конструкции четырехгранного или треугольного (равностороннего) очертания.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Порядок, приведенный в В.2.7, применяется только:

- а) в качестве руководства в отношении конструкций прямоугольного сечения или
- б) для оценки имеющихся конструкций, в отношении которых известны точные данные о расположении вспомогательных приспособлений и антенн.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Порядок, приведенный в В.2.7, может представлять более низкие значения аэродинамического сопротивления по сравнению с методом, приведенным в В.2.1.3, если K_A принимается равным 1,0 в В.2.3 и В.2.4.

В.2.1.3 Коэффициент общей ветровой нагрузки

(1) Коэффициент общей ветровой нагрузки Σc_f в направлении ветра на секцию конструкции принимается равным

$$\Sigma c_f = c_{f,s} + c_{f,A}, \quad (\text{В.1})$$

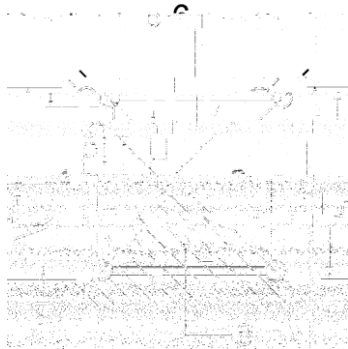
где

$c_{f,s}$ — коэффициент ветровой нагрузки на секции конструкции без приспособлений, определенный согласно В.2.2 на основе коэффициента сплошности φ , соответствующего обнаженной конструкции; и

$c_{f,A}$ — коэффициент ветровой нагрузки на вспомогательные приспособления, определенный в соответствии с В.2.3 или В.2.4, в зависимости от необходимости.

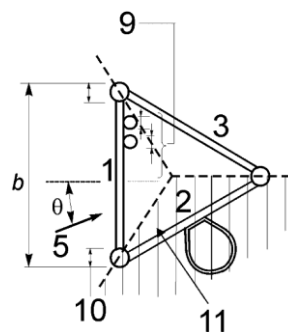
(2) Если расчетные площади вспомогательных приспособлений на каждой грани находятся в пределах 10 % друг от друга, их можно рассматривать как надлежащие конструктивные элементы, и общее аэродинамическое сопротивление рассчитывается согласно В.2.2.

a)



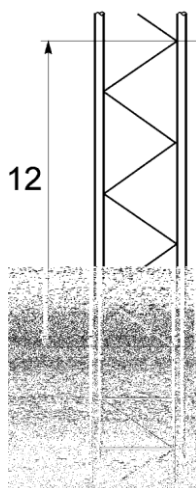
ПРИМЕЧАНИЕ Грань 1 должна приниматься за наветренную: $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$

b)

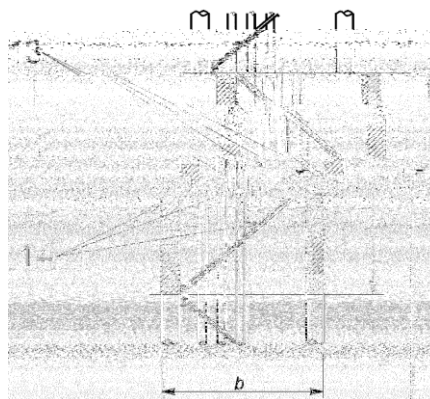


ПРИМЕЧАНИЕ Грань 1 должна приниматься за наветренную: $-60^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$. Наружная лестница рассматривается как отдельный элемент.

c)



d)



1 — грань 1; 2 — грань 2; 3 — грань 3; 4 — грань 4; 5 — направление ветра; 6 — вспомогательные элементы, спроектированные перпендикулярно грани 1; 7 — стойка, спроектированная перпендикулярно грани; 8 — вспомогательные компоненты на данном участке, распределенные на грани 2; 9 — вспомогательные компоненты, спроектированные перпендикулярно грани (включая ступеньки лестницы, защитную кольцевую арматуру и т. д.); 10 — стойка, спроектированная перпендикулярно грани; 11 — Вспомогательные компоненты на данном участке, распределенные на грани 2; 12 — секция мачты; 13 — вспомогательные компоненты, расчетная площадь A_A ; 14 — конструктивные элементы, расчетная площадь A_S ; 15 — высота панели (h)

a) План конструкции прямоугольного сечения

b) План конструкции треугольного сечения

c) Секция мачты

d) Несущий элемент

Рисунок В.2.1 — Расчетная площадь панели, применяемая при расчете соотношения сплошности ϕ

В.2.2 Коэффициент ветровой нагрузки конструктивных элементов

В.2.2.1 Общие положения

(1) В отношении решетчатых конструкций квадратных или треугольных в плане с равными площадями каждой грани коэффициент общей ветровой нагрузки $c_{f,S}$ секции в направлении ветра:

$$c_{f,S} = K_{\theta} \cdot c_{f,S,0} \cdot \frac{A_S}{\sum A}, \quad (\text{В.2})$$

где

$c_{f,S,0}$ — общий нормальный коэффициент лобового сопротивления секции j без концевоего эффекта, определенный в соответствии с В.2.2.2;

K_{θ} — коэффициент угла воздействия ветра

A_S — общая расчетная площадь при рассмотрении перпендикулярно поверхности элементов, с включением вспомогательных элементов, рассматриваемых как конструктивные, в пределах длины одной секции рассматриваемого уровня (см. Рисунок В.2.1) с учетом гололеда при необходимости;

$\sum A$ — берется как A_{ref} в 5.3(2) EN 1991-1-4 и может приниматься как отвлеченная величина (по соглашению) пока не достигнет значения A_{ref} .

(2) Коэффициент угла воздействия ветра K_{θ} — можно рассчитать по формулам:

— для конструкций квадратного сечения:

$$K_{\theta} = 1,0 + K_1 K_2 \sin^2 2\theta; \quad (\text{В.3а})$$

— для конструкций треугольного сечения:

$$K_{\theta} = \frac{A_c + A_{c,sup}}{A_S} + \frac{A_f}{A_S} (1 - 0,1 \sin^2 1,5\theta); \quad (\text{В.3.б})$$

При

$$K_1 = \frac{0,55 A_f}{A_S} + \frac{0,8(A_c + A_{c,sup})}{A_S}; \quad (\text{В.3.в})$$

$$K_2 = 0,2 \text{ для } 0 \leq \varphi \leq 0,2 \text{ и } 0,8 \leq \varphi \leq 1,0; \quad (\text{В.3.г})$$

$$K_2 = \varphi \text{ при } 0,2 < \varphi \leq 0,5; \quad (\text{В.3.д})$$

$$K_2 = 1 - \varphi \text{ при } 0,5 < \varphi < 0,8. \quad (\text{В.3.е})$$

В которых θ — угол воздействия ветра к нормали грани 1 в плане;

φ — коэффициент сплошности, -см. 7.11 EN 1991-1-4;

A_f — общая расчетная площадь при рассмотрении перпендикулярно поверхности элементов плоского сечения в грани;

A_c — общая расчетная площадь при рассмотрении перпендикулярно поверхности элементов круглого сечения в грани в докритических режимах;

$A_{c,sup}$ — общая расчетная площадь при рассмотрении перпендикулярно поверхности элементов плоского сечения в грани в сверхкритических режимах;

h — высота рассматриваемой секции

b — общая ширина секции, как показано на Рисунке В.2.2.

ПРИМЕЧАНИЕ Сумма равна $A_S = A_f + A_c + A_{c,sup}$

(3) Значения K_θ при обычно используемых значениях θ -см. на Рисунке В.2.2.

(4) Допускается, что элементы круглого сечения находятся в докритическом режиме при эффективном числе Рейнольдса $Re \leq 4 \times 10^5$, и в сверхкритическом режиме — при более высоких значениях числа Рейнольдса, если они свободны от льда.

(5) Значение Re —см. в 7.9.1(1) EN 1991-1-4.

(6) Если в отношении одного или всех элементов допускается сверхкритический поток, необходимо проверить, чтобы более высокая нагрузка не возникла при сниженной скорости ветра, соответствующей $Re \leq 4 \times 10^5$.

В.2.2.2 Коэффициенты общей нормальной силы

(1) Значения коэффициентов общей нормальной силы $c_{f,s,0}$, применяемые в отношении стержневой конструкции квадратного или треугольного сечения j , состоящего из элементов с плоским и круглым сечением, принимаются равными:

$$c_{f,s,0,j} = c_{f,0,f} \frac{A_f}{A_S} + c_{f,0,c} \frac{A_c}{A_S} + c_{f,0,c,sup} \frac{A_{c,sup}}{A_S}, \quad (\text{В.4})$$

где

$c_{f,0,f}$, $c_{f,0,c}$, $c_{f,0,c,sup}$ — коэффициенты силы для секций, состоящих из элементов плоского, докритического круглого и сверхкритического круглого сечений, соответственно, представленные формулами:

$$c_{f,0,f} = 1,76 C_1 [1 - C_2 \varphi + \varphi^2]; \quad (\text{В.5.а})$$

$$c_{f,0,c} = C_1 (1 - C_2 \varphi) + (C_1 + 0,875) \varphi^2; \quad (\text{В.5.б})$$

$$c_{f,0,c,sup} = 1,9 - \sqrt{\{(1 - \varphi)(2,8 - 1,14 C_1 + \varphi)\}}. \quad (\text{В.5.в})$$

При C_1 равном 2,25 — конструкции квадратного очертания

1,9 — конструкции треугольного очертания

При C_2 равном 1,5 — конструкции квадратного очертания

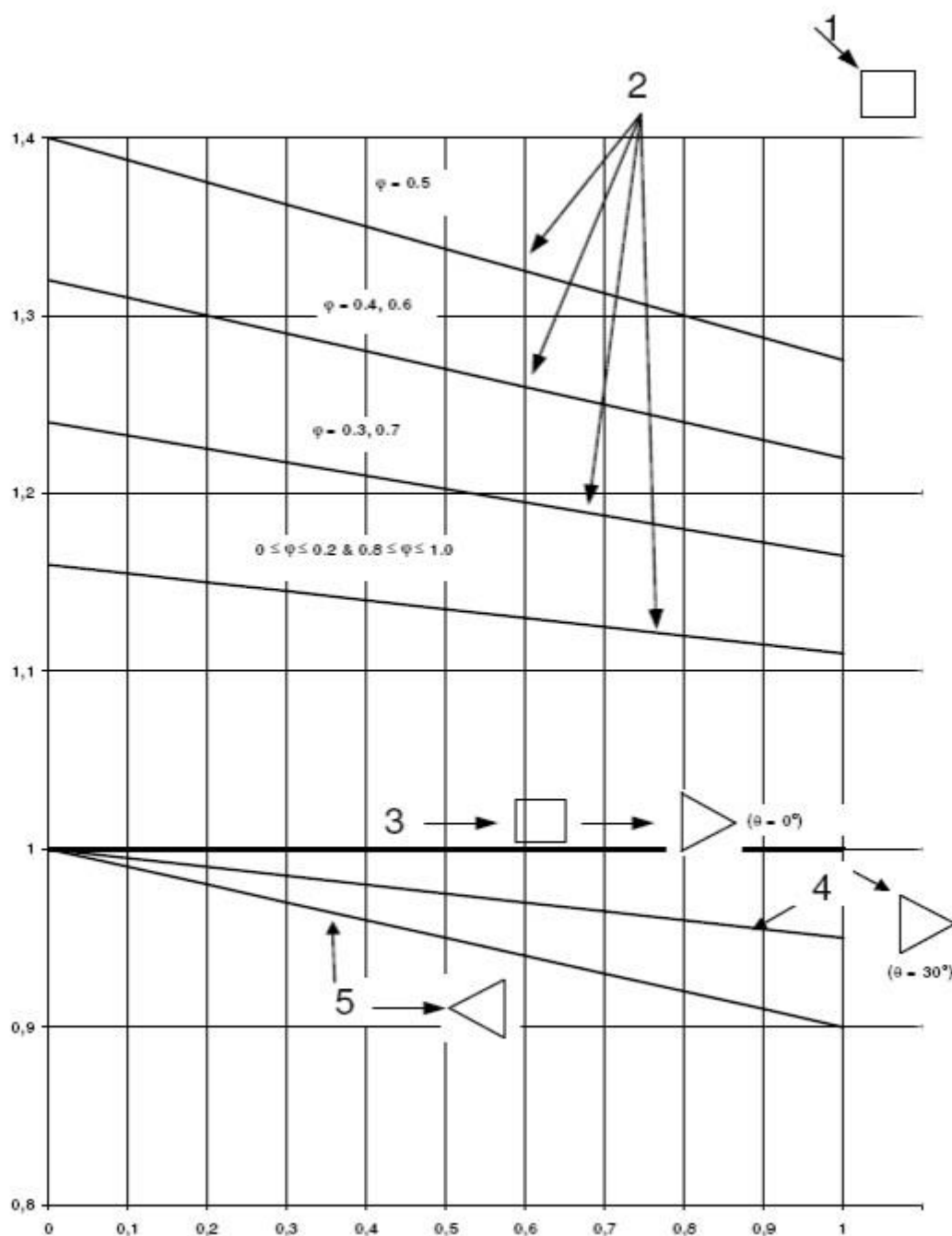
1,4 — конструкции треугольного очертания

где

φ , A_S , A_f , A_c , $A_{c,sup}$ определены в В.2.2.1.

(2) При расчете сил в отношении элементов круглого сечения в сверхкритических режимах можно консервативно (с запасом) допустить, что эти элементы находятся в докритических режимах.

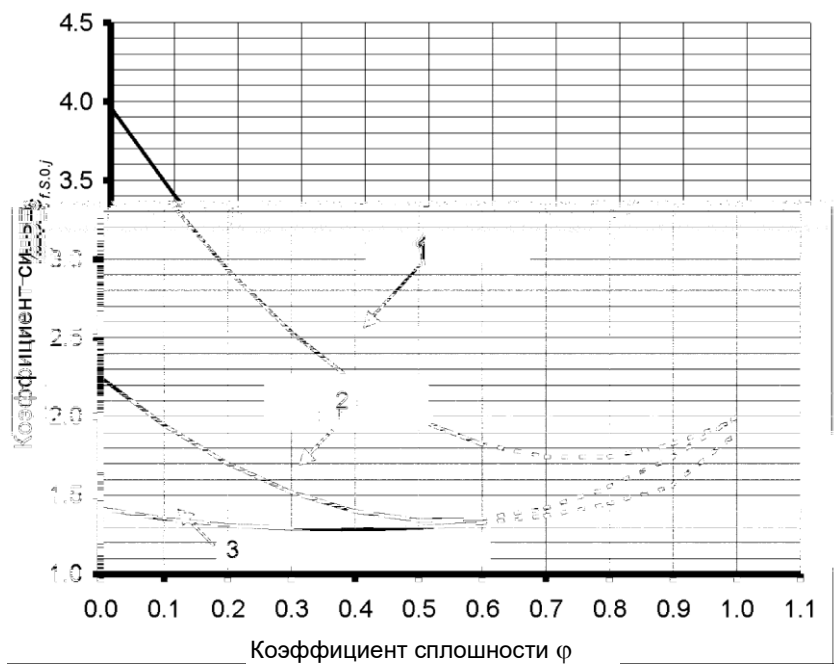
(3) Примерные значения этих коэффициентов силы —см. на Рисунке В.2.3.



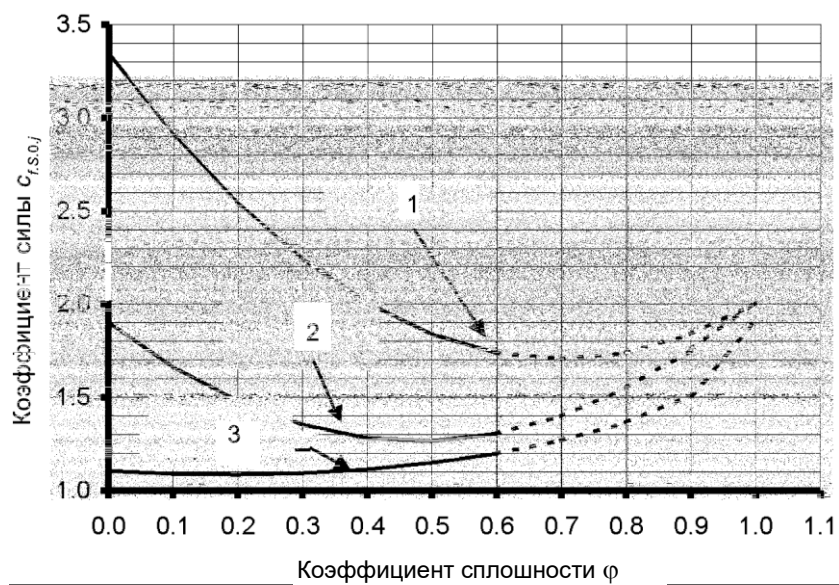
- 1 — Направление ветра;
2 — Башни квадратного очертания, направление ветра $\theta = 45^\circ$;
3 — Грань башен квадратного и треугольного очертания против ветра;
4 — Башни треугольного очертания, ветер параллельно грани;
5 — Башни треугольного очертания, ветер на угол $\theta = 180^\circ$;
Обозначения: -см. В.2.2.1

Рисунок В.2.2 — Коэффициент угла воздействия ветра K_θ

a)



b)



1 — плоское; 2 — круглое докритическое; 3 — круглое сверхкритическое

ПРИМЕЧАНИЕ В конструкциях с $\varphi > 0,6$ необходимо обратить внимание на возможность реакции на боковой ветер из-за воздействия вихревого движения -см. EN 1991-1-4.

a) Конструкции квадратного очертания;

b) Конструкции треугольного очертания

Рисунок В.2.3 — Коэффициенты общей нормальной силы $c_{f,s,0}$, применяемые в отношении конструкций квадратного или треугольного сечения:

В.2.3 Коэффициент ветровой нагрузки для линейных вспомогательных элементов

(1) Коэффициент ветровой нагрузки $c_{f,A}$ при направлении ветра на какое-либо линейное вспомогательное приспособление в пределах высоты панели принимается равным:

$$c_{f,A} = K_A \cdot c_{f,A,0} \cdot \sin^2 \psi \cdot \frac{A_A}{\sum A}, \quad (\text{В.6})$$

где

$c_{f,A,0}$ — коэффициент общего аэродинамического сопротивления приспособления и его эффективное число Рейнольдса, значения которого приведены в Таблице В.2.1 для отдельных изолированных элементов, и которое можно определить в соответствии с п. В.2.7.2 для частей, состоящих из одиночных рам;

K_A — коэффициент уменьшения для учета экранирования элемента самой конструкцией, поправка делается только в том случае, если хотя бы одна грань конструкции эффективно экранирует элемент (или наоборот); K_A приведен в Таблице В.2.2, кроме коэффициентов для секций круглого сечения в сверхкритическом потоке, а также вспомогательных элементов, не соответствующих ограничениям В.2.3(2), в этом случае $K_A = 1,0$.

ПРИМЕЧАНИЕ Если A_A больше чем A_S , то коэффициент уменьшения применяется, скорее, в отношении $c_{f,S,0}$, чем $c_{f,A}$. Таким образом, в этих случаях:

$$c_{f,S,0} = K_\theta c_{f,S,0} K_A$$

$$c_{f,A} = c_{f,A,0} \sin^2 \psi$$

ψ — угол наклона ветра к оси линейного элемента.

A_A — площадь видимых частей, когда при рассмотрении в направлении ветра включается при необходимости гололед;

$\sum A$ — определено в В.2.2.1(1).

Таблица В.2.1 — Типовые коэффициенты нагрузки $c_{f,A,0}$ и $c_{f,G}$ для отдельных элементов

Тип элемента	Эффективное число Рей-нольдса Re (см. EN 1991-1-4) (см. Примечание 1)	Коэффициент лобового сопротивления $c_{f,A,0}$ или $c_{f,G0}$	
		Без льда	С обледенением
(а) Плоские листы и прокат	Все значения	2,0	2,0
(b) Прокат круглого сечения и гладкая проволока	$\leq 2 \times 10^5$	1,2	1,2
	4×10^5	0,6	1,0
	$> 10 \times 10^5$	0,7	1,0
(c) многожильный провод, например, алюминиевый провод круглого сечения, закрытый проволоочный канат, стальной спиральный кабель из более 7 проволок	Без льда $\leq 6 \times 10^4$ $\geq 10^5$	1,2 0,9	
	С обледенением $\leq 1 \times 10^5$ $\geq 2 \times 10^5$		1,25 1,0
(d) скрученный многожильный кабель большого сечения, канат из прядей круглого сечения, спиральный стальной трос из 7 проволок (1 x 7)	Без льда $\leq 4 \times 10^4$ $> 4 \times 10^4$	1,31,1	
	С обледенением $\leq 1 \times 10^5$ $\geq 2 \times 10^5$		1,25 1,0
(e) Цилиндрический элемент со спиральным желобком глубиной до 0,12D (См. Примечание 2)	Все значения	1,2	1,2
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1 Значения $c_{f,A,0}$, соответствующие промежуточным значениям Re, можно получить путем линейной интерполяции</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2 Эти значения основаны на общей ширине, включая двойную глубину желобка.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3 Значения для обледеневших элементов соответственно для гололеда; следует обратить особое внимание, если они используются в отношении изморозевых отложений (см. ISO 12494).</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 4 В Национальном Приложении эти значения могут быть изменены.</p>			

(2) K_A принимается равным 1,0 для вспомогательных элементов, не соответствующих какому-либо из ниже приведенных ограничений:

а) общая расчетная площадь вспомогательных элементов, прилегающих к рассматриваемой грани, меньше расчетной площади конструктивных элементов этой грани (см. Рисунок В.2.1);

б) общая расчетная площадь, перпендикулярная какой-либо поверхности конструкции какого-либо отдельного внутреннего или наружного вспомогательного элемента, меньше половины общей площади поверхности панели (см. Рисунок В.2.1);

с) какой-либо вспомогательный элемент не выступает более чем на 10% за общую ширину грани конструкции на этом уровне.

(3) Где необходимо, соответствующую крутящую силу следует рассчитывать, используя надлежащий коэффициент, полученный при испытании в аэродинамической трубе с релевантным плечом силы при таком кручении.

Таблица В.2.2 - Коэффициент уменьшения K_A для вспомогательных элементов

Положение вспомогательных элемен- тов	Коэффициент уменьшения K_A	
	Квадратная или треугольная форма в плане	Треугольная форма в плане
Внутри секции	0,8	0,8
Снаружи секции	0,8	0,8
ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении эти значения могут быть изменены.		

В.2.4 Коэффициенты ветровой нагрузки отдельных вспомогательных элементов

(1) Для отдельного вспомогательного элемента, такого, как отражатель, коэффициент общей ветровой нагрузки $c_{f,A}$ в направлении ветра принимается равным:

$$c_{f,A} = c_{f,A,0} K_A, \quad (B.7)$$

где

$c_{f,A,0}$ — коэффициент нагрузки отдельного изделия в соответствии с направлением и скоростью ветра, определяется при испытаниях в аэродинамической трубе, обычно предоставляется изготовителем.

K_A — в соответствии с определением в В.2.3.

(2) Соответствующие коэффициенты боковой ветровой нагрузки $c_{f,A,x}$ и коэффициент подъемной силы $c_{l,A,z}$ необходимо рассчитывать, как для $c_{f,A}$, принимая начальное направление в плане как нормальное к направлению среднего ветра, а $c_{f,A,0}$ — как соответствующий коэффициент для бокового ветра и подъемной силы.

(3) Соответствующий коэффициент усилия кручения T_{AW} необходимо рассчитывать, используя надлежащий коэффициент, полученный в результате испытаний в аэродинамической трубе, в сочетании со свойственным плечом силы такого кручения.

В.2.5 Коэффициенты ветровой нагрузки оттяжек

(1) Коэффициент общей ветровой нагрузки $c_{f,G}$, перпендикулярной оттяжкам в плоскости, в которой расположены оттяжка и направление ветра, принимается равным

$$c_{f,G} = c_{f,G,0} \sin^2 \psi, \quad (B.8)$$

где

$c_{f,G,0}$ — общепринятый коэффициент лобового сопротивления, соответствующий эффективному числу Рейнольдса, значения которого приведены в Таблице В.2.1 для состояний без гололеда и с гололедом;

ψ — угол направления ветра к поясу.

ПРИМЕЧАНИЕ Где необходимо, должны быть учтены ветровые нагрузки на изоляторы оттяжек либо путем использования надлежащих коэффициентов ветровой нагрузки на отдельные элементы, расположенные по длине оттяжки, либо учитывая воздействие в $c_{f,G}$.

В.2.6 Коэффициенты ветровой нагрузки в условиях гололеда

(1) При определении аэродинамического сопротивления конструкции и вспомогательных приспособлений в условиях гололеда каждый элемент конструкции, вспомогательные приспособления и оттяжки необходимо принимать, как покрытые льдом со всех сторон толщиной, равной значениям, приведенным в Приложении С.

(2) Если зазоры между элементами в не обледеневшем состоянии менее 75 мм, необходимо допущение, что они полностью заполнены льдом в условиях гололеда.

(3) Коэффициенты нагрузки на отдельные элементы — см. в Таблице В.2.1.

(4) Необходимо рассматривать ассиметричное обледенение, когда некоторые оттяжки покрыты льдом, а некоторые свободны от гололеда (см. Приложение С).

В.2.7 Руководство для особых случаев

В.2.7.1 Коэффициент общей ветровой нагрузки

(1) Коэффициент общей ветровой нагрузки c_f в направлении ветра на высоте грани конструкции треугольного или квадратного сечения, или конструкции с прямоугольным сечением можно определить в соответствии с (2) ниже.

ПРИМЕЧАНИЕ При расчете конструкций треугольного или квадратного сечения необходимо использовать метод, приведенный в В.2.1.3.

(2) Коэффициент общей ветровой нагрузки c_f в направлении ветра на высоте грани можно определить следующим образом:

— для конструкции прямоугольного или квадратного сечения:

$$c_f = c_{1e} \cos^2 \theta_1 + c_{2e} \sin^2 \theta_1, \quad (\text{В.9})$$

— для конструкции треугольного сечения:

$$c_f = c_{1e} \cos^2 \frac{3\theta_1}{4} + c_{2e} \sin^2 \frac{3\theta_1}{4}, \quad (\text{В.10})$$

где

c_{1e} — коэффициент эффективной ветровой нагрузки, определяемый следующим образом:

— для конструкции прямоугольного или квадратного сечения:

$$c_{1e} = (c_1 + \eta_1 c_3) K_{\theta 1}$$

— для конструкции треугольного сечения:

$$c_{1e} = \left\{ c_1 + \frac{\eta_1}{2} (c_2 + c_3) \right\} K_{\theta 1}$$

c_{2e} — коэффициент эффективной ветровой нагрузки, определяемый следующим образом:

— для конструкции прямоугольного или квадратного сечения:

$$c_{2e} = (c_2 + \eta_2 c_4) K_{\theta 2}$$

— для конструкции треугольного сечения:

$$c_{2e} = \left\{ c_2 + \frac{\eta_2}{2} (c_1 + c_3) \right\} K_{\theta 2}$$

$C_1 - C_4$ — коэффициенты ветровой нагрузки, представленные формулами:

$$c_1 = c_{f,S1} A_{S1} / \Sigma A + c_{f,A1} A_{A1} / \Sigma A$$

$$c_2 = c_{f,S2} A_{S2} / \Sigma A + c_{f,A2} A_{A2} / \Sigma A$$

$$c_3 = c_{f,S3} A_{S3} / \Sigma A + c_{f,A3} A_{A3} / \Sigma A$$

$$c_4 = c_{f,S4} A_{S4} / \Sigma A + c_{f,A4} A_{A4} / \Sigma A$$

от A_{S1} до A_{S4} — площади, спроецированные перпендикулярно граням 1, 2, 3 и 4 соответственно, компонентов, рассматриваемых как конструкционные элементы в пределах одной высоты панели граней 1, 2, 3 и 4, включая гололед, где необходимо (см. Рисунок В.2.1);

от A_{A1} до A_{A4} — площади, спроецированные перпендикулярно граням 1, 2, 3 и 4 соответственно, вспомогательных приспособлений в пределах одной высоты панели граней 1, 2, 3 и 4, включая гололед, где необходимо (см. Рисунок В.2.1);

от $c_{f,S1}$ до $c_{f,S4}$ — коэффициенты ветровой нагрузки, соответствующие граням 1–4 соответственно, компонентов, рассматриваемых как конструкционные элементы, которые можно определить согласно п. В.2.7.2;

от $c_{f,A1}$ до $c_{f,A4}$ — коэффициенты ветровой нагрузки, соответствующие граням 1–4 соответственно, вспомогательных приспособлений, не рассматриваемых в качестве конструкционных элементов, которые определяются согласно п.п. В.2.3 или В.2.4 в зависимости от ситуации, но во всех случаях при $K_A = 1,0$;

ΣA — берется как A_{ref} в 5.3(2) EN 1991-1-4 и может приниматься как отвлеченная величина (по соглашению) пока не достигнет значения A_{ref} .

η_1 и η_2 — эффективные коэффициенты экранирования граней 1 и 2 соответственно, включая конструкционные элементы и вспомогательные приспособления:

— в случае конструкций квадратного сечения η_1 и η_2 необходимо обозначать: η_e ;

— в случае конструкций треугольного сечения η_1 и η_2 необходимо обозначать: $0,67\eta_e$;

— в случае конструкций прямоугольного сечения η_1 и η_2 необходимо обозначать: $\eta_e + 0,15(\omega - 1)(\varphi - 0,1)$ но не более 1,0;

$$\eta_e = (\eta_f A_f + 0,83 A_c + 2,1 A_{c,sup} + A_A) / (A_s + A_A), \text{ но не более } 1,0;$$

η_f — представлено формулой $\eta_f = (1 - \varphi)^{1,89}$ и представлено графически на Рисунке В.2.4;

где $A_f, A_c, A_{c,sup}$ — по определениям В.2.2.1 применительно к граням 1 и 2;

$A_s = A_f + A_c + A_{c,sup}$ - см. В.2.2.1(2)

A_A — спроецированная площадь, перпендикулярная поверхности вспомогательных приспособлений, не рассматриваемых в качестве конструкционных, применяемая к граням 1–4, в зависимости от ситуации;

φ — коэффициент сплошности, соответствующий граням 1 или 2, как показано на Рисунке В.2.2, но включая как конструкционные, так и вспомогательные элементы.

Таким образом: $\varphi = \frac{A_s + A_A}{hb}$,

ω — соотношение шагов конструкций прямоугольного сечения, равное расстоянию между рассматриваемой гранью и параллельной ей, разделенное на ширину грани на уровне центральной оси панели, но принимаемое равным не менее 1,0;

$K_{\theta 1}$ и $K_{\theta 2}$ — определяются согласно п. В.2.2.1, применяются в отношении граней 1 или 2, используя $(A_s + A_A)$ A_f и φ как определено в данном подпункте;

θ_1 — угол направления ветра к нормали грани 1.

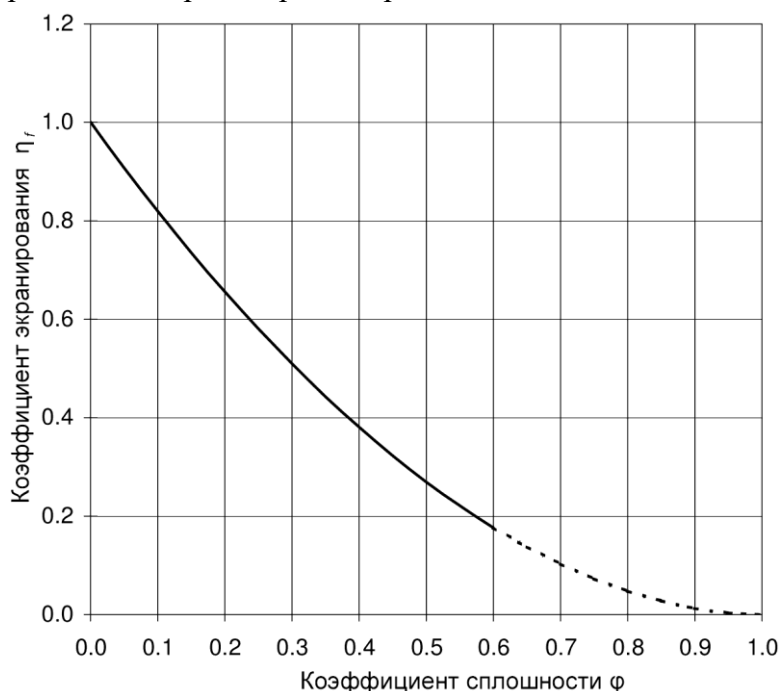


Рисунок В.2.4 — Коэффициент экранирования η_f для отдельных рам, состоящих из элементов с плоским сечением

(3) В отношении конструкций с $\varphi > 0,6$ необходимо рассмотреть возможность воздействия бокового ветра из-за вихревого движения -см. EN 1991-1-4.

(4) Коэффициенты общей нагрузки бокового ветра на панель c_{fx} необходимо определять согласно (2), но принимая начальное направление в плане как нормальное к направлению среднего ветра.

(5) Коэффициент общей ветровой нагрузки c_f в направлении ветра на высоте грани полигональной конструкции (с количеством граней более 4) необходимо определять на основании надлежащих испытаний в аэродинамической трубе согласно 1.5 EN 1991-1-4.

В.2.7.2 Коэффициент общей ветровой нагрузки одиночных рам

(1) Значения коэффициентов нормальной силы c_f для отдельных рам, состоящих из элементов с плоским и трубчатым сечением, принимается равным:

$$c_f = c_{f,f} \frac{A_f}{A_S} + c_{f,c} \frac{A_c}{A_S} + c_{f,c,sup} \frac{A_{c,sup}}{A_S}, \quad (\text{B.11})$$

где

$c_{f,f}$, $c_{f,c}$ и $c_{f,c,sup}$ — коэффициенты нормальной силы c_f элементов с плоским и докритическим трубчатым сечением, и сверхкритическим трубчатым сечением, соответственно, представленные формулами:

$c_{f,f}$ — коэффициент силы для отдельных рам, равный:

$$1,58 + 1,05(0,6 - \varphi)^{1,8} \text{ при } \varphi \leq 0,6;$$

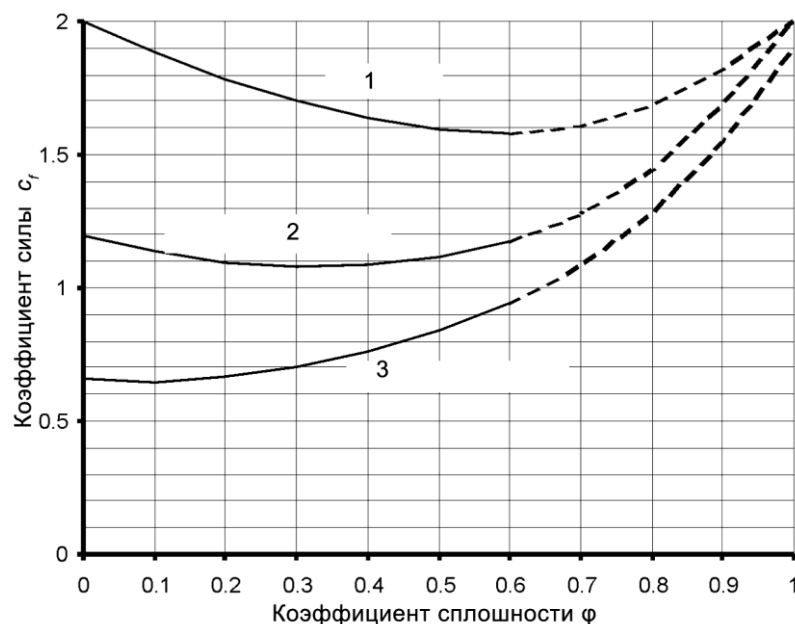
$$1,58 + 2,625(\varphi - 0,6)^2 \text{ при } \varphi > 0,6;$$

$A_f, A_c, A_{c,sup}, A_S$ и φ — согласно определениям в п. В.2.7.1.

$$c_{f,c} = (0,6 + 0,4\varphi^2)c_{f,f}$$

$$c_{f,c,sup} = (0,33 + 0,62\varphi^{5/3})c_{f,f}$$

(2) Примерные значения этих коэффициентов аэродинамического сопротивления приведены на Рисунке В.2.5.



1 — плоское сечение; 2 — докритическое трубчатое сечение;
3 — сверхкритическое трубчатое сечение

ПРИМЕЧАНИЕ Конструкции с $\varphi > 0,6$ см. в п. В.2.7.1 (3).

Рисунок В.2.5 — Коэффициент нормальной силы c_f для отдельных рам

В.3 Реакция решетчатых опор

В.3.1 Критерии статических методов

(1) Как правило, при выполнении условий, приведенных в В.3.1(3), применяется эквивалентный статический метод -см. В.3.2. В противном случае необходимо применять более сложные методы, например, метод спектрального анализа, -см. В.3.3. Необходима консультация специалиста.

(2) Эквивалентный статический метод включает допуски на динамическое усиление реакции, типичное для большинства башен, которые могут быть построены в соответствии с данным стандартом. Проверка применимости статической процедуры согласно Формуле (В.12) рассматривается только в качестве руководства. Динамический прирост обычно увеличивается в верхних панелях любой башни, особенно при концентрированной установке большого количества вспомогательных приспособлений или при использовании вогнутого очертания (Эйфелизация). В таких случаях при использовании статического метода необходимо обратить особое внимание на башни, в которых эти воздействия значительно выше, чем в типовых конструкциях.

(3) Эквивалентный статический метод можно применять, если:

$$\frac{7m_T}{\rho_s c_{f,T} A_T \sqrt{d_B \tau_0}} \left(\frac{5}{6} - \frac{h_T}{h} \right)^2 < 1, \quad (\text{В.12})$$

где

$c_{f,T} A_T$ — сумма ветровых нагрузок, действующих на панель (включая вспомогательные приспособления), начиная с вершины башни таким образом, что $c_{f,T} A_T$ — менее 1/3 общего результата суммирования $c_{f,T} A_T$ для всей башни (м²);

ρ_s — плотность материала конструкций башни (кг/м³);

m_T — общая масса панелей, составляющих $c_{f,T}$ (кг);

h — высота башни (м);

h_T — общая высота панелей, составляющих $c_{f,T}$, но не более $h/3$ (м);

τ_0 — константа объем/сопротивление, принятая равной 0,001 м;

d_B — высота в направлении ветра, равная

— основному диаметру d для башен прямоугольного сечения (м);

— 0,75 умноженная на ширину основания башни треугольного сечения (м).

В.3.2 Эквивалентный статический метод

В.3.2.1 Общие положения

(1) В отношении башен, состоящих из опорных стоек с триангулированными связями жесткости, с/без вспомогательных приспособлений, ветровую нагрузку считать по В.2, максимальные усилия в элементе конструкции должны быть определены в соответствии с В.3.2.2.1–В.3.2.2.5. В отношении башен несимметричной конструкции из опорных стоек с триангулированными связями жесткости, со вспомогательными приспособлениями или башен, ветровая нагрузка которых рассчитана согласно В.2.7, максимальные усилия в элементе конструкции необходимо определять в соответствии с В.3.2.2.6.

ПРИМЕЧАНИЕ В отношении симметричных башен треугольного и квадратного сечения ветровые нагрузки в направлении бокового ветра не являются значительными и поэтому при проектировании могут не учитываться. В отношении несимметричных башен такие нагрузки должны быть учтены.

В.3.2.2 Ветровая нагрузка

В.3.2.2.1 Общие положения

(1) Ветровая нагрузка в направлении ветра на башню определяется согласно (5.3) EN 1991-1-4, но с использованием коэффициентов ветровой нагрузки, приведенных в п. В.2 настоящего Приложения.

(2) Нагрузка среднего ветра при направлении ветра на башню $F_{m,W}(z)$ принимается, как:

$$F_{m,W}(z) = \frac{q_p}{1 + 7I_v(z_e)} \sum c_f A_{ref}, \quad (\text{В.14a})$$

(3) Эквивалентная нагрузка от порывов ветра при направлении ветра на башню $F_{m,W}(z)$ определяется по формуле:

$$F_{T,W}(z) = F_{m,W}(z) \left[1 + (1 + 0.2(z_m/h)^2) \frac{[1 + 7I_v(z_e)]c_s c_d - 1}{c_o(z_m)} \right], \quad (\text{В.14b})$$

где

I_v — интенсивность турбулентности в соответствии с EN 1991-1-4;

$c_s c_d$ — структурный фактор -см. Раздел 6.3 EN 1991-1-4;

z_m — высота над основанием, на которой необходимо определить воздействие нагрузки;

h — общая высота башни;

$c_o(z_m)$ — орографический фактор согласно EN 1991-1-4.

В.3.2.2.2 Расчетные усилия в элементах конструкций или фундаменте

(1) Максимальное усилие S_{max} в элементе конструкции или силы, действующие на фундаменты, необходимо определять на основе $F_{m,w}$ и увеличивать с учетом коэффициента:

$$S_{max} = S_{m,w} \left[1 + (1 + 0.2(z_m/h)^2) \frac{[1 + 7I_v(z_e)]c_s c_d - 1}{c_o(z_m)} \right], \quad \text{см. также (B.14b)} \quad (\text{B.15})$$

где

$S_{m,w}$ — усилия в элементе конструкции или фундаменте, определенные на основе средней ветровой нагрузки $F_{m,w}$;

$c_o(z_m)$ — определен в 3.2.2.1(3).

В.3.2.2.3 Нагрузка при расчете силы сдвига

(1) Нагрузка, применяемая при расчете сил в связях жесткости, должна быть основана на конфигурации башни.

ПРИМЕЧАНИЕ Силы сдвига в фундаменте определены в В.3.2.2.2.

(2) В отношении башен с таким наклоном стоек, что при проекции они пересекаются над вершиной башни (см. Рисунок В.3.1(а)), максимальная сила связей или сдвига над заданным уровнем определяется согласно В.3.2.2.2.

ПРИМЕЧАНИЕ Силы в связях жесткости при изменении наклона стоек могут включать составляющие усилий в стойках и силы сдвига.

(3) В отношении башен, в которых рассматриваемые стойки панели наклонены таким образом, что при проекции они пересекаются ниже вершины башни (см. Рисунок В.3.1(б)), необходимо выполнить два расчета нагрузок, используя:

а) среднюю ветровую нагрузку $F_{m,w}(z)$ под пересечением и эквивалентную нагрузку ветрового напора $F_{T,w}(z)$ над пересечением;

б) среднюю ветровую нагрузку $F_{m,w}(z)$ над пересечением и эквивалентную нагрузку ветрового напора $F_{T,w}(z)$ под пересечением.

(4) При наличии более одного такого пересечения для каждой панели необходимо произвести расчет двух случаев нагружения - см. Рисунок В.3.1(с).

ПРИМЕЧАНИЕ В отношении связей жесткости над верхней точкой пересечения можно использовать метод, приведенный в п. В.3.2.2.3(2).

В.3.2.2.4 Нагрузка на тросы и оттяжки, поддерживаемые опорой

(1) Максимальную ветровую нагрузку на тросы и оттяжки в направлении ветра $F_{c/G_w}(z)$ необходимо принимать равной:

$$F_{c/G_w}(z) = \frac{q_p(z)}{1 + 7I_v(z)} \Sigma c_{f,G} \cdot A_G \cdot \left[1 + \frac{[1 + 7I_v(z)]c_s c_d - 1}{c_o(z)} \right], \quad (B.16)$$

где

$q_p(z)$ — пиковое ветровое давление на расчетной высоте троса, z метров над уровнем грунта площадки, определенное в соответствии с EN 1991-1-4.

$\Sigma c_{f,G}$ — коэффициент общей ветровой нагрузки на оттяжку/трос в направлении ветра, определенный в соответствии с В.2.

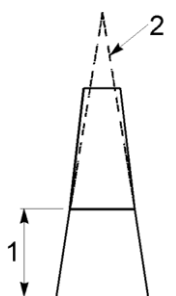
В.3.2.2.5 Нагрузка при расчете отклонений и поворотов

(1) Отклонения и повороты, как правило, имеют значение только для выполнения требований к эксплуатационной надежности. Критерии эксплуатационной надежности должны быть определены заказчиком в технических требованиях к проекту (см. 7.2.2).

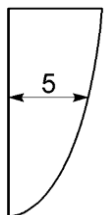
В.3.2.2.6 Ветровая нагрузка несимметричных башен или башен со сложным вспомогательным оборудованием

(1) В отношении несимметричных башен или башен с несимметрично расположенным вспомогательным оборудованием большого размера и/или с тросами, вызывающими скручивающие усилия и поперечную нагрузку, в общей нагрузке из-за воздействия ветровой нагрузки необходимо учитывать комбинированное воздействие ветра на отдельные части, как по ветру, так и против ветра, где необходимо.

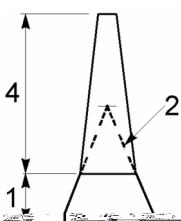
(2) Воздействия переменной нагрузки, вызванные вихревыми потоками бокового ветра, необходимо учитывать в сочетании с воздействием нагрузки «по ветру».



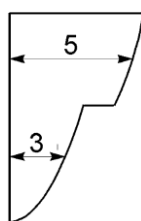
(a) Случай 1



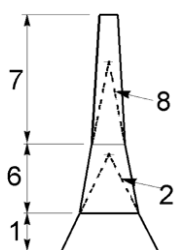
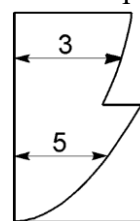
Все сдвиги, определенные на основе средней нагрузки и поправочного коэффициента ветрового напора



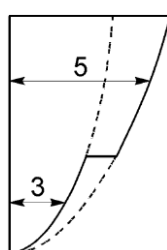
(b) Случай 2



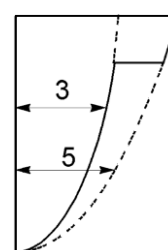
Патч-нагрузка на панель «А»



(c) Случай 3



Нагрузка на панель



Нагрузка на панель Б»:

А»:

Патч 1 _____

Патч 2 -----

Патч 1 _____

Патч 2 -----

- 1 — Панель «А»; 2 — Проекция стоек из панели «А»; 3 — среднее;
4 — Панель «А» как в случае 1, см. панели выше;
5 — Напор ветра; 6 — Панель «В»;
7 — Панель «Б» как в случае 1, см. панели выше;
8 — Проекция стоек из панели «В»

Рисунок В.3.1 — Сдвигающая зональная (патч) нагрузка

(3) В таких случаях для определения воздействия общей нагрузки воздействие средней нагрузки по ветру необходимо отделить от переменной ветровой нагрузки. Поэтому расчет конструкции башни должен производиться при средней ветровой нагрузке в направлении ветра ($F_{m,W}(z)$), как указано в В.3.2.2.1(1).

ПРИМЕЧАНИЕ При наличии тросов необходимо применять среднюю нагрузку на тросы $F_{m,CW}(z)$ (см. п. В.3.2.2.4).

(4) Отдельные эффекты нагрузки необходимо тогда рассчитывать следующим образом:

а) воздействие средней ветровой нагрузки $S_{m,TW}$, определенное на основе ветровой нагрузки $F_{m,TW}(z)$;

б) переменная линейная ветровая нагрузка $S_{1,TW}$, определенная по формуле:

$$S_{1,TW} = S_{m,TW} \frac{[1 + 7I_v(z)]c_s c_d - 1}{c_o(z_m)} (1 + 0,2(z_m/h)^2), \quad (B.17)$$

в) вихревые потоки в боковом направлении вызывают переменную ветровую нагрузку ($S_{1,TX}$), которая при отсутствии иной информации определяется по формуле

$$S_{1,TX} = K_X \left(\frac{\sum c_X}{\sum c_f} \right) S_{1,TW}, \quad (B.18)$$

где

K_X — поправочный коэффициент силы вихревых потоков бокового ветра;

$\sum c_X$ — коэффициент поперечной подъемной силы конструкции (и вспомогательных приспособлений — при наличии) на высоте рассматриваемой панели;

$\sum c_f$ — согласно В.2.1.3(1).

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Значение K_X может быть приведено в Национальном Приложении. Рекомендуется значение $K_X = 1,0$.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Вихревые потоки бокового ветра вызывают переменные ветровые нагрузки даже в симметричных башнях; однако такие нагрузки, как правило, не влияют на критически нагруженные элементы (кроме усталостной нагрузки).

(5) Воздействие общей нагрузки ΣS_T в результате воздействия ветра в любом элементе принимается равным

$$S_T = S_{m,TW} + S_{m,cw} + \sqrt{S_{1,TW}^2 + S_{1,TX}^2 + S_{cables}^2}, \quad (B.20)$$

где

$S_{m,cw}$ — средняя нагрузка на оттяжки, полученная от составляющих нагрузок по (B.16);

S_{cables} — динамическая от колебаний нагрузка на оттяжки, полученная от составляющих нагрузок по (B.16).

В.3.3 Метод спектрального анализа

(1) Если усилия от продольных ветровых нагрузок рассчитываются с помощью спектрального анализа, допускается, что метеорологические условия должны соответствовать указанным в EN 1991-1-4, а коэффициенты ветровой нагрузки — указанным в п. В.2. Кроме того, принимаются параметры, определенные в Приложении В EN 1991-1-4, при отсутствии более точных данных.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация.

(2) Вихревые потоки бокового ветра вызывают переменные ветровые нагрузки, которые необходимо учитывать совместно с линейными ветровыми нагрузками. Необходимо определить надлежащие параметры, соответствующие принятым в отношении воздействия «по ветру».

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация.

В.3.4 Колебания/вибрации, вызванные вихреобразованием при боковом ветре

(1) Если башни являются опорой для призматических, цилиндрических или плохо обтекаемых объектов большого размера, или предполагается, что они могут быть существенно заблокированы льдом, необходимо определить их восприимчивость к колебаниям/вибрации, вызванным вихреобразованием и/или галопированием в соответствии с EN 1991-1-4.

В.4 Характеристики мачт с оттяжками

В.4.1 Общие положения

(1) Максимальные силы, подлежащие рассмотрению при расчете элементов мачт и фундаментов, необходимо определять с надлежащим допуском в целях учета вихревых потоков.

(2) Такие силы должны представлять собой результирующее воздействие эквивалентной статической нагрузки, вызванной ветром со скоростью, равной 10-минутному воздействию ветра среднего значения только в направлении ветра, а также переменной нагрузки в направлении ветра и при боковом ветре в результате порывистости.

В.4.2 Критерии обоснованности применения статических методов

(1) Обычно статические методы применяются при определении максимальных сил в элементах мачты (см. В.4.3). Метод спектрального анализа (см. В.4.4) необходимо использовать только в отношении мачт, склонных к значительной реакции на динамические воздействия.

(2) Расчет большинства мачт, разрушение которых вызывает значительные экономические последствия или потенциальную опасность (см. п. 2.3), необходимо проверять по методу спектрального анализа, если это предусмотрено в проектных требованиях.

(3) При использовании статических методов расчета должны выполняться следующие условия:

а) общая длина любой консоли над ярусом верхней оттяжки составляет менее половины интервала между предпоследней и верхней оттяжками;

б) параметр β_s менее 1, где

$$\beta_s = \frac{4 \left(\frac{E_m I_m}{L_s^2} \right)}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_{Gi} H_{Gi} \right)} < 1, \quad (\text{B.21a})$$

где

$$K_{Gi} = 0,5 N_i A_{Gi} E_{Gi} \cos^2 \alpha_{Gi} / L_{Gi}, (\text{B.21b})$$

N — количество ярусов оттяжек;

A_{Gi} — площадь поперечного сечения оттяжки в ярусе крепления i ;

E_{Gi} — модуль осевой упругости оттяжки в ярусе крепления i ;

L_{Gi} — длина оттяжки в ярусе крепления i ;

N_i — количество оттяжек, закрепленных в ярусе крепления i ;

H_{Gi} — высота яруса крепления i над основанием мачты;

α_{Gi} — наклон оттяжки к горизонтали в ярусе крепления i ;

E_m — модуль упругости мачты;

I_m — средняя инерция мачты при изгибе;

L_s — среднее расстояние между ярусами крепления оттяжек.

с) параметр Q меньше 1, где

$$Q = \frac{1}{30} \sqrt[3]{\frac{H V_H}{D_o}} \sqrt{\frac{m_o}{H R}}, \quad (\text{B.21в})$$

m_o — средняя масса на единицу длины ствола мачты, включая вспомогательные приспособления (кг/м);

D_o — средняя ширина грани мачты (м);

V_H — средняя скорость ветра V_b на вершине мачты (м/сек);

R — средняя величина общего коэффициента сопротивления при ссылке на площадь ΣA , определяемую в В.2.2.1(1);

H — высота мачты, включая консоль, при наличии (м).

(4) Если какое-либо из условий (3) не выполнено, следует использовать спектральный метод анализа (см. В.4.4).

В.4.3 Эквивалентные статические методы

В.4.3.1 Общие положения

(1) Для учета динамических характеристик мачт в отношении ветровых нагрузок

необходимо произвести расчет мачты по серии статических схем патч — нагрузки на основе среднего нагружения, усиленного ветровыми патч-нагрузками. Применение этого метода требует выполнения нескольких статических расчетов ветра в отношении каждого рассматриваемого направления; результаты должны быть скомбинированы для обеспечения максимальной характеристики.

(2) Максимальные усилия в мачтах симметричного сечения со связями жесткости в виде треугольной решетки, без вспомогательных приспособлений или с таковыми, расположенными симметрично относительно рассматриваемого направления ветра, не подверженные динамической чувствительности (см. В.4.7), выводятся на основании п. В.4.3.2.

(3) В отношении мачт со вспомогательными приспособлениями, расположенными несимметрично относительно рассматриваемого направления ветра, необходимо определить дополнительные силы, действующие вследствие эффекта бокового ветра, в соответствии с В.4.3.2.8.

В.4.3.2 Случаи нагружения, подлежащие рассмотрению

В.4.3.2.1 Средняя ветровая нагрузка

(1) Ветровая нагрузка при направлении ветра на мачту $F_{m,W}$ в результате воздействия среднего ветра принимается, как

$$F_{m,W}(z) = \frac{q_p(z)}{1 + 7I_v(z)} \Sigma c_w(z) A_{ref}, \quad (\text{В.22})$$

где

$c_w(z)$ — коэффициент ветровой нагрузки конструкции (и вспомогательных приспособлений при наличии) при направлении ветра на рассматриваемую секцию мачты на высоте z метров от уровня грунта стройплощадки, определенный в соответствии с В.2.1.3.

(2) Нагрузки принимаются, как действующие на уровне центра площадей граней (включая вспомогательные приспособления — при наличии) в пределах высоты секции.

(3) Ветровая нагрузка на оттяжки $F_{GW}(z)$, перпендикулярная оттяжкам в плоскости, содержащей оттяжку и направление ветра, в результате воздействия среднего ветра принимается, как

$$F_{GW}(z) = \frac{q_p(z)}{1 + 7I_v(z)} c_{f,G}(z) A, \quad (\text{В.23})$$

где

$c_{f,G}(z)$ — коэффициент ветровой нагрузки рассматриваемой оттяжки, определенный в соответствии с В.2;

(4) Если прилагается равномерная нагрузка, то $q_p(z)$ необходимо принимать, как скорость ветра на $2/3$ высоты крепления оттяжки к мачте.

(5) Эффект нагрузки S_m в результате действия среднего ветра необходимо определять для каждого компонента мачты путем геометрического нелинейного статического анализа при среднем нагружении $F_{m,W}$ и F_{GW} .

В.4.3.2.2 Зональные (патч) нагрузки

(1) Помимо среднего нагружения согласно В.4.3.2.1 последовательные зональные (патч) нагрузки прилагаются следующим образом:

- на каждый пролет ствола мачты между соседними ярусами крепления оттяжек (и пролет между основанием мачты и первым ярусом);
- на консоль, если это имеет значение;
- от центра до центра прилегающих пролетов;
- от основания до середины высоты первого яруса крепления оттяжек;
- от середины пролета между предпоследней и верхней оттяжкой, если отсутствует консоль, но если это имеет значение, консоль включается.

(2) Такая схема приведена на Рисунке В.4.1. Зональная нагрузка определяется по формуле:

$$F_{PW}(z) = 2k_s \frac{q_p(z)}{1 + 7I_v(z)} \frac{I_v(z)}{c_o(z)} \Sigma c_w(z) A_{ref}, \quad (\text{В.24})$$

где $c_w(z)$ - соответствует определению в В.4.3.2.1;

k_s - коэффициент масштабирования, который определяет возможные случайности;

$I_v(z)$ - интенсивность турбулентности, как указано в 4.4 EN 1991-1-4, в зависимости от особенностей местности и орографии;

$c_o(z)$ - коэффициент орографии, определенный в соответствии с EN 1991-1-4.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Коэффициент масштабирования k_s учитывает мультимодальную реакцию мачт с оттяжками.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Значение коэффициента масштабирования k_s может быть приведено в Национальном Приложении. Рекомендуется значение $k_s = 3,5$.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 В целях упрощения зональные нагрузки могут применяться со значением z равным высоте зоны при $I_v(z)$ и $q_p(z)$.

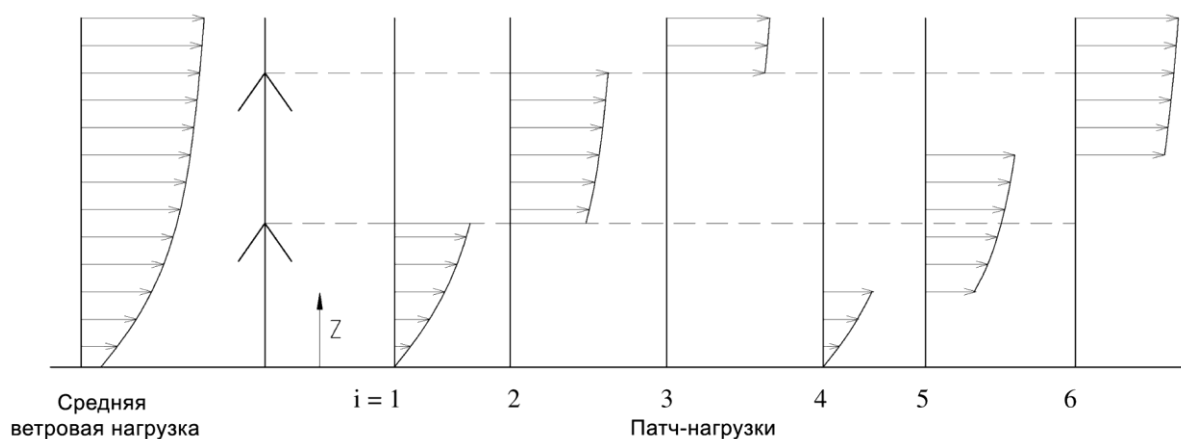


Рисунок В.4.1 — Приложение зональных нагрузок

(3) Эти зональные нагрузки должны прилагаться к мачте при средней ветровой нагрузке, определенной согласно В.4.3.2.1.

(4) Для мачт высотой до 50 м следует рассматривать только один случай со средней и зональной нагрузкой, огибающей мачту.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 В таких случаях сдвиговые связи в каждом пролете должны проектироваться с учетом максимального сдвига (и связанного с ним кручения) в этом пролете.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 В таких случаях стойки и их соединения в каждом пролете должны проектироваться с учетом максимальной (минимальной) нагрузки на стойку в этом пролете.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 В таких случаях, если мачта является опорой для консоли, то (i) средняя плюс зональная нагрузка на консоль и средняя нагрузка на мачту и (ii) средняя нагрузка на консоль и средняя нагрузка плюс зональная нагрузка на мачту также должны быть учтены.

В.4.3.2.3 Нагружение оттяжек

(1) В каждом случае зонального (патч) нагружения ствола мачты, как указано в п. В.4.3.2.2, зональные ветровые нагрузки $F_{PG}(z)$ на оттяжки должны прилагаться в тех же границах -см. Рисунок В.4.2. Эти зональные нагрузки должны прилагаться перпендикулярно каждой оттяжке в плоскости, в которой располагаются оттяжка и направление ветра:

$$F_{PG}(z) = 2k_s \frac{q_p(z)}{1 + 7I_v(z)} \frac{I_v(z)}{c_0(z)} c_{f,G}(z) A, \quad (\text{В.25})$$

где

k_s — коэффициент масштабирования

$c_{f,G}(z)$ — коэффициент ветровой нагрузки, перпендикулярной оттяжке в плоскости, в которой расположены оттяжка и направление ветра, определенный согласно п. В.2.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Коэффициент масштабирования k_s учитывает мультимодальную реакцию мачт с оттяжками.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Значение коэффициента масштабирования k_s может быть приведено в Национальном Приложении. Рекомендуются значение $k_s = 3,5$.

(2) В целях упрощения зональные нагрузки могут быть распределены по всей высоте рассматриваемых оттяжек путем умножения вышеуказанной ветровой нагрузки на соотношение z_p/z_G :

где

z_p - высота зоны на оттяжке; и

z_G - высота крепления оттяжки к мачте.

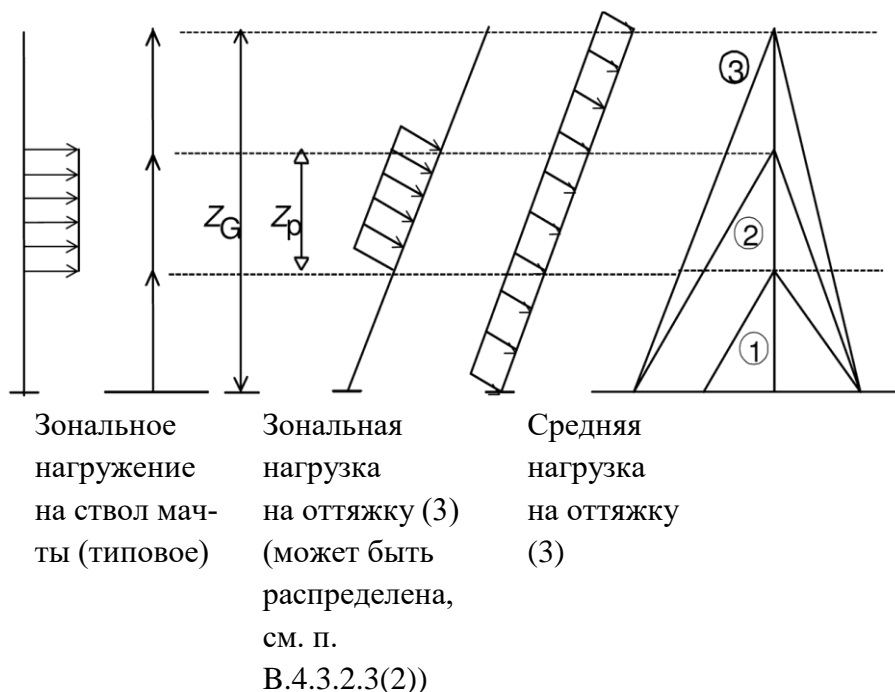


Рисунок В.4.2 — Зональное нагружение оттяжек

В.4.3.2.4 Вывод характеристик на основе зональных нагрузок

(1) Необходимо рассчитать воздействие нагрузки на каждый элемент ствола мачты и оттяжки, выведенное на основе каждой из приложенных последовательно зональных нагрузок (S_{PLi}).

(2) Это производится путем расчета разности между воздействием зональной нагрузки в сочетании со средней нагрузкой и воздействием только средней нагрузки.

(3) Затем эти воздействия комбинируются, как корень квадратный из суммы квадратов или:

$$S_p = \sqrt{\sum_{i=1}^N S_{PLi}^2} \quad (\text{В.26})$$

где

S_{PLi} — воздействие нагрузки (реакция) схемы нагружения i ;

N — общее количество требуемых схем нагружения;

S_p — общая действующая нагрузка с зональными нагрузками.

В.4.3.2.5 Общее воздействие нагрузок

(1) Общее воздействие нагрузок на каждый элемент ствола мачты S_{TM} определяется следующим образом:

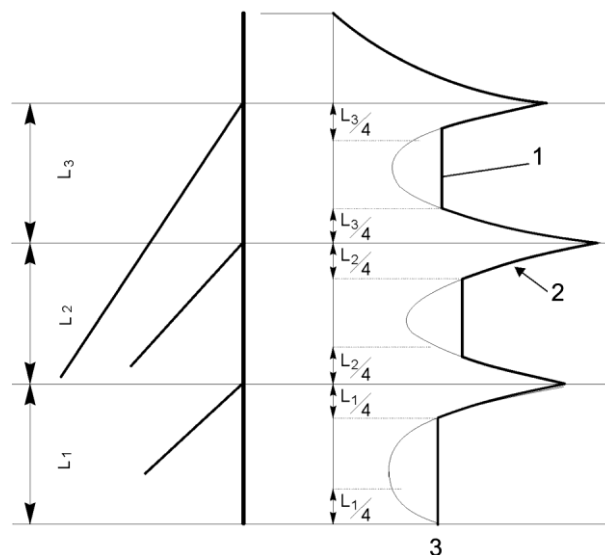
$$S_{TM} = S_M \pm S_p, \quad (\text{В.27})$$

где

S_M — среднее воздействие переменной нагрузки, определенное в В.4.3.2.1;

S_p — воздействие переменной нагрузки, определенное в В.4.3.2.4, с использованием знака для создания наиболее сильного воздействия.

(2) В расчете общего усилия в сдвиговой связи каждого пролета ствола мачты согласно п. (1) выше минимальное значение в пределах пролета должно приниматься равным максимальному значению, рассчитанному на расстоянии в одну четверть пролета от прилегающего яруса крепления оттяжки (или основания мачты, если это имеет значение). В данном контексте «пролет» относится к расстоянию между соседними ярусами крепления оттяжек или между основанием и нижним ярусом крепления (см. Рисунок В.4.3).



- 1 — Минимальное значение, используемое в отношении данного пролета;
2 — См. Примечание; 3 — Усилие в сдвиговой связи

ПРИМЕЧАНИЕ Огибающая кривая сил в сдвиговых связях в результате зональных нагрузок (показаны абсолютные значения)

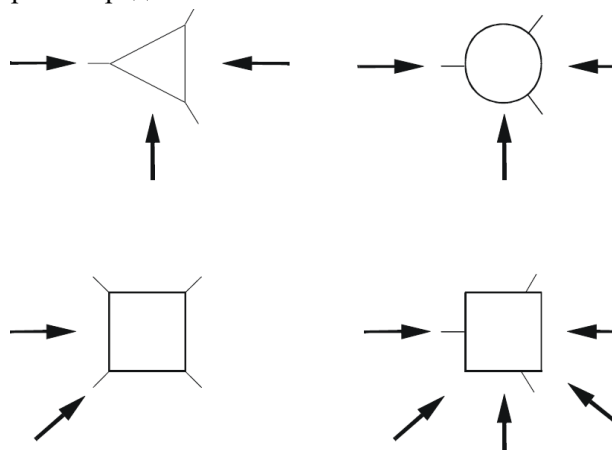
Рисунок В.4.3 — Минимальные усилия в сдвиговой связи ствола мачты

В.4.3.2.6 Направления ветра, подлежащие рассмотрению

(1) В отношении каждого элемента мачты необходимо учитывать направление ветра, оказывающее самое значительное воздействие. На практике это означает, что должны быть рассмотрены несколько направлений ветра.

(2) Если мачта практически симметричная по форме и нагрузкам, следует рассмотреть не менее трех направлений ветра в отношении трехгранной мачты, раскрепленной в трех направлениях, т.е. 90° , 30° к грани и 60° к грани. Для мачт с квадратным сечением и раскрепленных в четырех направлениях следует рассмотреть не менее двух направлений ветра: перпендикулярно грани и 45° к грани. Примеры приведены на Рисунке В.4.4.

ПРИМЕЧАНИЕ Для учета общей устойчивости симметричных мачт (см. 5.1(5)) необходимо предусмотреть введение бокового эффекта (например, боковой ветровой нагрузки - 2% продольной ветровой нагрузки, или отклонения направления ветра 2° от воображаемого направления) при выполнении расчета второго порядка.



(в мачте круглого сечения с четырьмя растяжками — аналогично)

Рисунок В.4.4 — Типовые направления ветра, подлежащие рассмотрению

В.4.3.2.7 Нагрузки при расчете отклонений и поворотов

(1) Отклонения и повороты, как правило, имеют значение только для выполнения требований к эксплуатационной надежности. Критерии эксплуатационной надежности должны быть определены заказчиком в технических требованиях к проекту (см. 7.2.2).

В.4.3.2.8 Ветровая нагрузка несимметричных мачт или мачт со сложным вспомогательным оборудованием

В.4.3.2.8.1 Общие положения

(1) В отношении несимметричных мачт или мачт с несимметрично расположенным вспомогательным оборудованием большого размера и/или тросами, вызывающими скручивающие усилия и поперечную нагрузку, в общей нагрузке из-за воздействия ветровой нагрузки необходимо учитывать комбинированное воздействие ветра на отдельные части, как по ветру, так и против ветра, где это необходимо.

(2) Вихревые потоки бокового ветра вызывают воздействия переменной нагрузки. Может возникнуть необходимость в их учете в сочетании с воздействием нагрузки «по ветру».

(3) Метод отделения средней нагрузки по ветру от переменной ветровой нагрузки следует применять, как указано в отношении башен в В.3.2.2.1. В отношении мачт с растяжками это вызывает необходимость Приложения ряда поперечных зональных нагрузок ветровых таким же образом, как указано в В.4.3.2.2.

(4) Воздействие общей нагрузки необходимо тогда рассчитывать следующим образом:

$$S_{TM} = S_M \pm S_{PW}^2 + K_X^2 S_{PX}^2 \quad (B.28)$$

где

S_{PW} — воздействие линейных зональных нагрузок;

S_{PX} — воздействие боковых ветровых зональных нагрузок;

K_X — поправочный коэффициент силы вихревых потоков бокового ветра.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Значение K_X может быть приведено в Национальном Приложении. Рекомендуются значение $K_X = 1,0$.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Вихревые потоки бокового ветра вызывают переменные ветровые нагрузки даже в симметричных мачтах; однако такие нагрузки, как правило, не влияют на критически нагруженные элементы.

(5) В качестве альтернативы, для упрощения, можно не выполнять точный расчет с учетом вихревых потоков бокового ветра как в В.4.3.2.8.1(4), но учесть эффект от нагрузок бокового ветра допуская увеличением на 10% значения нагрузки от общего воздействия S_{TM} из В.4.3.2.5(1).

В.4.4 Метод спектрального анализа

(1) Расчет реакции с помощью спектрального анализа необходимо использовать только для дополнения резонанса в реакцию.

(2) Нерезонансный отклик можно определить, используя общий статический метод (см. В.4.3.2). Значение K_s принимается $K_s = 2,95$.

(3) Допускается, что метеорологические условия должны соответствовать указанным в EN 1991-1-4, а коэффициенты ветровой нагрузки — указанным в п. В.2. Кроме того, принимаются параметры, определенные в Приложении В EN 1991-1-4, при отсутствии более точных данных.

(4) Вихревые потоки бокового ветра вызывают переменные ветровые нагрузки, которые необходимо учитывать в сочетании с продольными ветровыми нагрузками. Необходимо принять надлежащие параметры, соответствующие принятым в отношении воздействия по ветру.

(5) Необходимо рассчитывать реакцию для всех видов колебаний с собственной частотой менее 2 Гц.

В.4.5 Колебания/вибрации, вызванные вихреобразованием

(1) Если мачты являются опорой для плохообтекаемых объектов большого размера, или предполагается, что они могут быть существенно заблокированы льдом, необходимо определить их восприимчивость к колебаниям/вибрации, вызванным вихреобразованием, в соответствии с EN 1991-1-4.

В.4.6 Вибрации оттяжек

(1) Оттяжки мачт необходимо проверять на наличие высокочастотных вибраций, вызванных вихреобразованием, и галопирования, особенно в случаях обледенения оттяжек, следующим образом:

а) вибрации, вызванные вихреобразованием

В оттяжках могут возникать вибрации резонансного типа малой амплитуды при низкой скорости ветра, вызванные вихреобразованием высокой частоты.

Поскольку вихреобразование может возникать в высших формах, нельзя установить общие правила. Однако в качестве руководства можно применять опыт, показывающий, что такие вибрации с наибольшей вероятностью возникают, если напряжение оттяжек в неподвижном воздухе превышает 10 % разрушающей нагрузки.

б) Галопирование (включая вибрации, вызванные дождем)

Оттяжки могут быть подвержены галопированию, когда покрыты льдом или толстым слоем смазки. Увеличение толщины слоя смазки или льда может сформировать аэродинамические формы, вызывающие нестабильность тяжения и подъема. Результатом может стать возникновение низкочастотных вибраций большой амплитуды. Аналогичные вибрации могут возникать в условиях дождя.

В этом случае также нельзя установить общие правила, поскольку возникновение галопирования существенно зависит от образования льда или профиля смазки. Как правило, галопирование возникает на оттяжках большого диаметра и относительно нечувствительно к начальному напряжению раскрепления. Дополнительно – см. EN 1991-1-11 (подраздел 8.3).

(2) При возникновении вибрации оттяжек необходимо предусмотреть гасители колебаний или виброгасители или спойлеры для ограничения последующих напряжений – см. D.2.

(3) Если известно о возникновении таких вибраций, а меры по их устранению не предпринимались, необходимо произвести проверку анкеровки оттяжек на усталость. В таких случаях следует обратиться за консультацией к специалисту.

Приложение С
(информационное)

Нагрузка от обледенения и сочетания обледенения с ветром

ПРИМЕЧАНИЕ В данном Приложении рассматривается нагрузка от обледенения и сочетания обледенения с ветром в отношении мачт и башен. Предполагается включение этих данных в EN 1991 — «Воздействия на несущие конструкции».

С.1 Общие положения

(1) Гололедные нагрузки на мачты и башни в незащищенных местах могут увеличиваться и в сочетании с ветром и увеличенным аэродинамическим сопротивлением из-за обледеневших элементов в некоторых случаях являться определяющими при проектировании.

(2) Размеры гололедных отложений на конструкциях, а также их плотность, расположение и форма в значительной степени зависят от местных метеорологических условий, топографии и формы самой конструкции.

(3) Обледенение традиционно классифицируется в соответствии с двумя различными процессами льдообразования:

- внутриоблачное обледенение;
- обледенение в результате атмосферных осадков.

(4) Эти типы обледенения могут привести к образованию различных типов льда: мягкий иней, твердый иней, мокрый снег и гололед с различными физическими свойствами плотности, адгезии, когезии, цвета и формы. Например, плотность обычно варьируется от 200 кг/м^3 до 900 кг/м^3 , от концентрических отложений (гололед и мокрый снег) до эксцентрического отложения на одной грани, заостренного по ветру (мягкий и твердый иней).

(5) В целях инженерного проектирования традиционно допускается, что все элементы мачт и башен покрыты льдом определенной толщины, что в сочетании с плотностью можно использовать при расчете веса льда и аэродинамического сопротивления. Такие методы можно обосновать в местностях, где гололед и мокрый снег формируют расчетные гололедные нагрузки, но в случае инея физическая реальность не совпадает с равномерной толщиной льда на всех элементах мачт и башен. Однако в местностях, где отложения льда при внутриоблачном образовании относительно малы, метод расчета веса льда и аэродинамического сопротивления при наличии гололеда с допущением равномерного слоя льда может резонно применяться на практике, если используются значения, взятые с запасом.

(6) С другой стороны, в Европе есть местности, подверженные значительному гололеду, и для таких регионов специалисты должны оценивать гололедные нагрузки. Такие оценки включают вес, расположение, форму и т.д. гололедной нагрузки на конструкции, а также надлежащее сочетание гололеда с ветром, подлежащее точному определению.

(7) В нижеприведенных положениях представлено общее описание обращения с гололедными нагрузками и их сочетания с ветром, действующих на мачты и башни.

С.2 Гололедная нагрузка

(1) Принципы характеристической гололедной нагрузки, включая плотность и другие проектные параметры, приведены в ISO 12494. В ISO 12494 гололедная нагрузка основана на классах гололеда (изморозь и гололед), но фактические классы гололеда по местностям не приведены, как и плотность гололеда.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация.

(2) Поскольку гололед может образовываться на башнях и мачтах несимметрично, такие ситуации необходимо учитывать. Несимметричный гололед представляет особый интерес в отношении мачт, на которых гололед на различных оттяжках может значительно отличаться, вызывая изгибающее воздействие на ствол мачты. Несимметричное обледенение оттяжек может быть частично вызвано несимметричным нарастанием льда в зависимости от направления ветра и частично — неравномерным сбросом гололеда с оттяжек.

С.3 Вес льда

(1) При определении веса гололеда на решетчатой башне или мачте, как правило, допускается, что все конструкционные элементы, части лестниц, вспомогательные приспособления и т.д. покрыты льдом одинаковой толщины по всей поверхности элемента, — см. Рисунок С.1.



Рисунок С.1 — Толщина льда на конструкционных элементах

С.4 Гололедно-ветровая нагрузка

(1) В районах возникновения гололеда сочетание с ветром часто влияет на проектирование мачт и башен. Увеличенное аэродинамическое сопротивление, вызванное отложениями льда на отдельных элементах, может привести к формированию критической нагрузки, даже если скорость ветра меньше максимального характеристического значения.

(2) Аэродинамическое сопротивление обледеневшей башни или мачты может быть рассчитано с использованием основного метода, приведенного в Приложении В, с учетом увеличения ширины элементов из-за толщины слоя гололеда. Если зазоры между элементами небольшие (к примеру, менее 75 мм), допускается, что они заполнены льдом. Определение аэродинамического сопротивления в случае изморози гораздо более сложное, и необходимо уделить особое внимание случаям полного обледенения мачт или граней мачт. Руководство приведено в ISO 12494.

(3) При сочетании гололеда и ветра характеристическое давление ветра в периоды времени, когда возможно образование гололеда, меньше характеристического давления ветра в любом случае. Необходимо принять это к сведению, умножая характеристическое давление ветра, приведенное в EN 1991-1-4, на коэффициент k . Коэффициенты k приведены в ISO 12494 и зависят от класса гололеда.

С.5 Асимметричная нагрузка от обледенения

(1) Асимметричное обледенение мачты необходимо учитывать при отложении гололеда на ствол мачты и все оттяжки за исключением:

- оттяжки или оттяжек в одном верхнем ярусе;
- оттяжки или оттяжек в двух верхних ярусах.

С.6 Сочетание гололеда и ветра

(1) Сочетание гололеда и ветра необходимо учитывать как при симметричном, так и при несимметричном обледенении. Расчетные значения нагрузок приведены в 2.3, следует использовать следующие сочетания:

- преобладание льда и сопровождающий ветер:

$$\gamma_G G_k + \gamma_{ice} Q_{k,ice} + \gamma_W k \psi_W Q_{k,w}, \quad (C.1)$$

- преобладание ветра и сопровождающий гололед:

$$\gamma_G G_k + \gamma_W k Q_{k,w} + \gamma_{ice} \psi_{ice} Q_{k,ice}, \quad (C.2)$$

где коэффициент k определен в п. С.4(3).

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация по коэффициентам сочетаний. Рекомендуются следующие коэффициенты сочетаний:

$$\psi_{W(\text{ветер})} = 0,5, \quad (C.3a)$$

$$\psi_{ice(\text{лед})} = 0,5. \quad (C.3b)$$

(2) См. частные коэффициенты общего веса γ_G , гололедной нагрузки γ_{ice} и ветровой нагрузки γ_W в Приложении А.

Приложение D
(обязательное)

Оттяжки, виброгасители, изоляторы, вспомогательные и другие приспособления

D.1 Оттяжки

D.1.1 Металлические оттяжки и элементы, работающие на растяжение

(1) См. Металлические оттяжки и элементы, работающие на растяжение – см. в EN 1993-1-11.

(2) Необходимо применять канаты с металлическим сердечником.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация.

D.1.2 Неметаллические оттяжки

(1) Можно использовать другие материалы помимо стали при условии, что они имеют надлежащий модуль упругости и предприняты соответствующие меры для предотвращения высокочастотных вибраций.

ПРИМЕЧАНИЕ При выборе синтетических материалов с низким модулем упругости может потребоваться более высокое начальное растяжение для компенсации их более низкой жесткости, что может привести к возникновению высокочастотных вибраций. Концы таких канатов изолируются в целях предотвращения проникновения влаги, в противном случае возможен грозовой разряд. Возможно, потребуются более высокие частные коэффициенты для неметаллических оттяжек, чем для стальных.

(2) Неметаллические оттяжки должны соответствовать надлежащим техническим спецификациям.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация.

D.2 Виброгасители

D.2.1 Виброгасители конструкции

(1) Возможные колебания, которые могут возникать в башне или мачте под воздействием ветра, необходимо снижать с помощью гасителей колебаний.

ПРИМЕЧАНИЕ Дополнительно - см. Приложения В и А EN 1993-3-2.

D.2.2 Виброгасители оттяжек

D.2.2.1 Общие положения

(1) Для подавления возможных вибраций, возникающих в оттяжках под действием ветра, необходимо использовать один из следующих методов:

а) На оттяжках устанавливаются виброгасители в любом случае, если начальное растяжение более 10% расчетной прочности на разрыв оттяжки.

б) Если оттяжки не оборудованы виброгасителями, необходимо производить проверку оттяжек в первые годы эксплуатации на предмет возникновения избыточной частоты и/или амплитуды вибраций. В противном случае необходимо установить виброгасители, как указано в (а).

ПРИМЕЧАНИЕ См. Данные о вибрации в –см. Приложения В.

D.2.2.2 Гасители колебаний для снижения вихревого движения

(1) Надлежащие гасители вибраций необходимо устанавливать во всех случаях, где предполагается или наблюдается возникновение неприемлемых колебаний, вызываемых вихревым движением. Частотный диапазон колебаний должен быть определен.

D.2.2.3 Гасители колебаний для снижения галопирования (включая вибрации, вызванные воздействием дождя/ветра)

(1) Можно обеспечить частичный контроль галопирования и вибраций, вызванных воздействием дождя/ветра, соединив точки максимальной амплитуды двух или более оттяжек канатами. При проектировании соединений оттяжек необходимо учитывать это воздействие в условиях сильного ветра.

ПРИМЕЧАНИЕ Для обеспечения частичного контроля галопирования можно применять навешивание цепей, если они будут действовать в соответствующем частотном диапазоне.

D.3 Изоляторы

(1) Выбор изоляторов производится в зависимости от электрических и механических характеристик.

(2) См. Минимальный предел прочности –см. в соответствующих технических условиях.

(3) Арматура изоляторов оттяжек проектируется таким образом, чтобы даже в случае повреждения электрооборудования устойчивость мачты была обеспечена. Это можно достичь, например, применением надежных изоляторов или параллельным подключением изоляторов.

(4) Устройства защиты от электрической дуги должны предотвращать возникновение дугового разряда на поверхности изолирующих материалов, прилегающих к стальной арматуре.

(5) Если в основании мачты используются изоляторы, необходимо предусмотреть устройство поддомкрачивания для обеспечения возможности их замены.

(6) Механическая нагрузка и разгрузка керамического изолирующего материала (при механических испытаниях и/или при монтаже) производится в соответствии с надлежащими техническими спецификациями.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация. В случае отсутствия иных данных нагружение и разгрузка производятся со скоростью ок. 5% предполагаемой нагрузки последовательно, с интервалом примерно 1 мин. таким образом, чтобы длительность процесса нагружения или разгрузки составляла не менее 20 минут.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Электрические характеристики – см. в Национальном Приложении.

D.4 Вспомогательные и другие приспособления

D.4.1 Лестницы, площадки и т.д.

(1) Лестницы, площадки, ограждения и другие приспособления должны применяться по соответствующим нормам.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация.

D.4.2 Молниезащита

(1) Башни, мачты и оттяжки необходимо эффективно заземлить в целях грозозащиты. Таковая может быть обеспечена металлической лентой, закольцованной вокруг фундамента с подсоединением к металлическим штырям и плитам, установленным в грунте. Анкера оттяжек должны быть защищены аналогичным образом.

(2) Система заземления должна быть смонтирована до возведения стальной конструкции, необходимо предусмотреть соединения для системы заземления в процессе монтажа.

(3) Если все конструкционные соединения электрически связаны, нет необходимости в дополнительных подключениях.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация.

D.4.3 Авиационные светоограждение и дневная маркировка

(1) Конструкции, представляющие опасность для движения воздушных судов, должны быть обозначены.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация.

D.4.4 Защита от вандализма

(1) Необходимо предпринять подходящие защитные меры для ограничения доступа неуполномоченных лиц.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном приложении может быть приведена дополнительная информация.

Приложение Е
(информационное)

Разрыв оттяжки

Е.1 Введение

(1) Разрыв оттяжки представляет собой аварийное воздействие. См. частные коэффициенты в Приложении А.

(2) Точный расчет динамического воздействия на мачты с оттяжками, вызванного внезапным разрывом оттяжки, весьма сложен, поскольку некоторые из различных факторов, влияющих на поведение мачты сразу после разрыва неясны: например, характер разрыва, гашение колебаний мачты и оттяжек, вибрация оттяжек и мачты и т.д. Соответственно, можно принять упрощенную модель расчета, приведенную в Е.2. Консервативный метод (с запасом) приведен в Е.3.

Е.2 Упрощенная расчетная схема

(1) При использовании упрощенной модели расчета мачты в связи с разрывом оттяжки допускается, что динамические воздействия эквивалентны статическим силам, действующим на мачту на уровне яруса крепления оттяжек, где, как предполагается, произошел разрыв.

(2) При расчете такой статической эквивалентной силы $F_{h,dyn,sd}$, описанной ниже, допускается, что:

- разрыв представляет собой простой разрез оттяжки;
- энергия упругой деформации оттяжки 1 (см. Рисунок Е.1) перед разрывом не учтена;
- не учтено гашение колебаний;
- не учтена ветровая нагрузка при расчете эквивалентной силы.



1 — оттяжка 1; 2 — оттяжка 2; 3 — оттяжка 3; 4 — отклонение

Рисунок Е.1 — Разрыв оттяжки

(3) При указанном отклонении оттяжки 2 и 3 действуют на мачту с силой $F_{h,Sd}$. Это отношение показано на Рисунке Е.2 в виде кривой 1. Очевидно, что $F_{h,Sd}$ уменьшается при увеличении отклонения из-за ослабления натяжения оттяжек.

(4) Помимо комплекта оттяжек рассматриваемого яруса, для мачтовой системы может быть также показано отношение внешней горизонтальной силы и отклонения центра. На Рисунке Е.2 это отношение показано с помощью кривой 2. В месте пересечения кривых 1 и 2 две силы одинаковы, т.е. в наличии статическое равновесие. Сила, действующая на соединение — $F_{h,stat,Sd}$.

(5) В момент разрыва энергия сосредоточена в оттяжках 2 и 3. Когда мачта начинает отклоняться, эта энергия частично трансформируется в кинетическую.

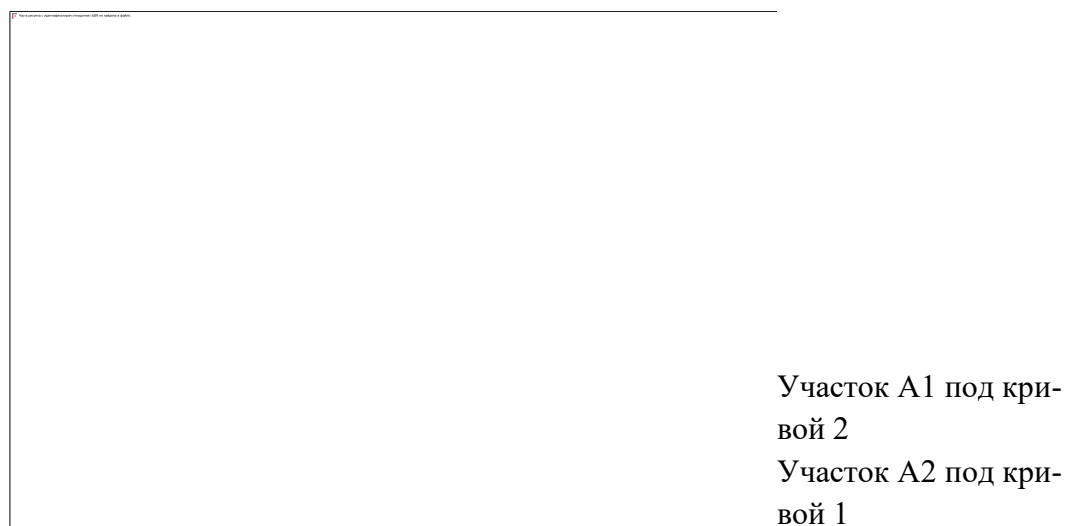
(6) При максимальном отклонении кинетическая энергия равна нулю, поскольку энергия, потерянная оттяжками 2 и 3, передана мачте в виде энергии упругой деформации на ствол и оттяжки. Гашение колебаний не учтено.

(7) Допускается, что энергия, потерянная оттяжками 2 и 3, равна участку А2 под кривой 1 на Рисунке Е.2.

(8) Отклонение, в результате которого два участка А1 и А2 становятся равными, необходимо принять как динамическое отклонение u_{dyn} .

(9) Динамическая сила $F_{h,dyn,Sd}$ соответствует этому динамическому отклонению. Коэффициент динамического воздействия Φ можно определить следующим образом:

$$\Phi = \frac{F_{h,dyn,Sd}}{F_{h,stat,Sd}}, \quad (E.1)$$



1 — Кривая 1: Оттяжки 2 и 3;
2 — Кривая 2: Мачта за исключением оттяжек 1, 2 и 3

Рисунок Е.2 — График «сила-отклонение»

(10) Вышеуказанный метод расчета мачты сразу после возможного разрыва оттяжки применяется в отношении мачт, раскрепленных в трех направлениях. В отношении мачт, раскрепленных в четырех (или более) направлениях, принимается аналогичный метод, основанный на тех же принципах.

(11) По согласованию проектировщиков, заказчика и компетентных органов вышеуказанная динамическая сила, возникающая при разрыве, не должна комбинироваться с климатическими нагрузками.

Е.3 Консервативный метод (расчет с запасом)

(1) Динамические силы в стволе мачты и оттяжках, вызванные разрывом троса, могут быть рассчитаны с запасом, для этого используется следующий статический расчет.

(2) Горизонтальная составляющая силы оттяжки, действующей в оттяжке перед разрывом, необходимо использовать как дополнительную силу, действующую на мачту без поврежденной оттяжки.

ПРИМЕЧАНИЕ При отсутствии других климатических нагрузок она соответствует начальному растяжению.

(3) Результирующую силу оттяжки необходимо увеличить, используя коэффициент 1,3, если в мачте два яруса раскрепления, или в случае рассмотрения разрыва верхней оттяжки.

Е.4 Анализ после разрыва оттяжки

(1) В дополнение к методам, приведенным в Е.2 и Е.3 выше, сразу после разрыва оттяжки мачта должна выдерживать ветровые нагрузки в течение короткого периода времени, пока не будет установлена временная оттяжка.

(2) Если не приведены какие-либо другие требования, мачта без разрушенной оттяжки должна выдерживать сниженную ветровую нагрузку, действующую, как статическая нагрузка, и без патч-нагрузки ветра. Сниженная ветровая нагрузка принимается равной 50% характеристической средней ветровой нагрузки, действующей при наиболее неблагоприятном направлении ветра.

Приложение F
(информационное)

Изготовление

F.1 Общие положения

- (1) Изготовление и монтаж башен и мачт производится в соответствии с EN 1090-2.

F.2 Болтовые соединения

(1) Все болтовые соединения в башнях и мачтах должны быть защищены от ослабления гаек при эксплуатации.

(2) В местах, где необходимо учитывать воздействие усталости, болтовые отверстия в элементах должны быть просверленными.

(3) Можно использовать пригнанные или высокопрочные болты или более жесткие допуски на болтовые отверстия, чем приведенные в EN 1090-2, в тех местах, где смещения предельные (см. F. 4.2).

F.3 Сварные соединения

(1) Качество сварных швов, допускаемое при выборе надлежащего класса усталостного сопротивления конструкционной детали (см. 9.3), должно быть указано на рабочих чертежах конструкции.

F.4 Допуски

F.4.1 Общие положения

(1) При изготовлении необходимо соблюдать допуски, приведенные в EN 1090, часть 2.

(2) Если допуски, приведенные в EN 1090-2, не соответствуют требованиям к функционированию конструкции, необходимо применять более жесткие допуски.

F.4.2 Допуски на монтаж

F.4.2.1 Решетчатые башни

- (1) Необходимо указать максимальное смещение верха башни.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация. Рекомендуются максимальное отклонение верха башни, не превышающее $1/500$ высоты башни.

(2) Окончательное выравнивание необходимо производить в спокойных условиях с учетом температурного воздействия.

Ф.4.2.2 Мачты с оттяжками

(1) При проектировании необходимо определить чувствительность конструкции к переменной скорости ветра при окончательном выравнивании и натяжении оттяжек.

ПРИМЕЧАНИЕ Как правило, если такие операции производятся при скорости ветра, превышающей 5 м/сек., необходимо выполнить расчеты в целях компенсации воздействия ветра с учетом температурного воздействия.

(2) Окончательное выравнивание и натяжение оттяжек начинается, как правило, с нижнего яруса раскрепления.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении могут быть приведены предельные допуски. Рекомендуются следующие значения:

а) Окончательное положение центральной оси мачты должно быть в пределах вертикально расположенного конуса с вершиной на основании мачты, и радиусом, равным $1/1500$ высоты над основанием мачты. Это не относится к оттяжкам антенн или антенных решеток.

б) Результирующий горизонтальный компонент начального растяжения всех оттяжек данного яруса не должен превышать 5% среднего горизонтального компонента начального растяжения оттяжек для данного яруса. Начальное растяжение отдельной оттяжки данного яруса ни при каких обстоятельствах не должно отличаться от расчетного значения более чем на 10 % -см. EN 1993-1-11.

в) Максимальное начальное отклонение ствола мачты между двумя ярусами оттяжек должно быть $L/1000$, где L — расстояние между рассматриваемыми ярусами.

г) После монтажа допуск на выравнивание трех последовательных соединений оттяжек к мачте ограничен значением $(L_1 + L_2)/2000$, где L_1 и L_2 — длины двух последовательных пролетов ствола мачты.

Ф.4.3 Ограничения натяжения

(1) После монтажа необходимо натянуть оттяжки в соответствии с проектными расчетами, с учетом фактической температуры в месте установки -см. EN 1993-1-11.

(2) Чтобы уменьшить возможности возникновения вибрации оттяжек, необходимо производить натяжение в неподвижном воздухе, натяжение каждой оттяжки должно быть менее 10% от разрушающей нагрузки.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 В отношении мачт небольшой высоты это значение может быть увеличено.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Низкая степень натяжения в неподвижном воздухе может привести к галопированию оттяжек.

F.5 Предварительное растяжение оттяжек

(1) Для обеспечения упругого состояния оттяжки необходимо предварительно растянуть (до анкеровки). Это можно сделать на производстве поставщика или, если имеются подходящие возможности, на строительной площадке - см. EN 1993-1-11.

ПРИМЕЧАНИЕ Необходимость предварительного растяжения зависит от планируемой программы последующих натяжений, типа и размера используемых канатов или тросов, а также их восприимчивость к отклонениям.

(2) Предварительное растяжение производится путем циклического Приложения нагрузки к оттяжке, составляющей от 10 до 50 % от разрушающей нагрузки. Количество циклов должно быть не менее 10. Данную процедуру нельзя выполнять, пропуская нагруженную оттяжку через шкив.

Приложение G
(информационное)

Потеря устойчивости при продольном изгибе элементов мачт и башен

G.1 Сопротивление продольному изгибу сжатых элементов

(1) Расчетное сопротивление продольному изгибу сжатого элемента в решетчатой башне или мачте определяется в соответствии с EN 1993-1-1 следующим образом:

— для сечений классов 1, 2 и 3:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}, \quad (G.1a)$$

— для сечений класса 4:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}, \quad (G.1b)$$

где

χ —коэффициент уменьшения при соответствующей форме потери устойчивости, определенный в 6.3.1.2 EN 1993-1-1.

(2) При постоянном осевом сжатии элементов с постоянным сечением коэффициент уменьшения χ и коэффициент ϕ для определения χ определяются с использованием эффективной гибкости $\bar{\lambda}_{eff}$ вместо $\bar{\lambda}$. Эффективная гибкость $\bar{\lambda}_{eff}$ рассчитывается следующим образом:

$$\bar{\lambda}_{eff} = k \bar{\lambda}, \quad (G.2)$$

где

k — эффективный коэффициент гибкости, -см. G.2, и $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$

λ_1 — определено в EN 1993-1-1

λ — гибкость при соответствующей форме потери устойчивости -см. Приложение H.

ПРИМЕЧАНИЕ Эффективная гибкость учитывает условия опирания сжатого элемента.

(3) Для отдельных элементов из уголкового профиля, оба конца которых закреплены нежестко (как минимум, двумя болтами, если это болтовое соединение), расчетное сопротивление продольному изгибу, определенное в G.1(1), необходимо уменьшить, применяя коэффициент уменьшения η .

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть определен коэффициент уменьшения η . Рекомендуются следующие значения:

$\eta = 0,8$ для отдельных элементов из уголкового профиля, соединенных на каждом конце одним болтом;

$\eta = 0,9$ для отдельных элементов из уголкового профиля, соединенных на одном конце — одним болтом, а другой конец при этом закреплен жестко.

G.2 Эффективный коэффициент гибкости k

(1) Для расчета надлежащей общей гибкости элемента можно определить эффективный коэффициент гибкости k в соответствии с схемой конструкции.

а) Опорные стойки

См. k в Таблице G.1

б) Элементы связей жесткости:

k надлежит определять с учетом схемы связей жесткости (см. Рисунок Н.1) и соединений связей жесткости к опорным стойкам. При отсутствии более точных данных см. значения k в Таблице G.2.

с) Элементы горизонтальных связей жесткости:

в случае горизонтальных элементов К-образных связей без диафрагм (см. Н.3.10), половина длины которых сжата, а другая растянута, при выпучивании поперечно раме эффективный коэффициент гибкости k , определенный по Таблице G.2, необходимо умножить на коэффициент k_1 , приведенный в Таблице G.3, зависящий от отношения растягивающей нагрузки N_t к сжимающей нагрузке N_c .

Таблица G.1 — Эффективный коэффициент гибкости k для опорных стоек



Симметричные связи жесткости			Несимметричные связи жесткости			
Сечение			Сечение			
Ось	v-v	y-y	Ось	v-v	y-y	y-y
 <p>Случай (а) Основные связи жесткости на двух концах</p>	$0,8 + \frac{\bar{\lambda}}{10}$ но $\geq 0,9$ и $\leq 1,0$	$1,0^{(1)}$	 <p>Верхний конец развязан горизонтальными элементами</p>	$1,2 \left(0,8 + \frac{\bar{\lambda}}{10} \right)$ но $\geq 1,08$ и $\leq 1,2$ на $L_2^{(2)}$	$1,2 \left(0,8 + \frac{\bar{\lambda}}{10} \right)$ но $\geq 1,08$ и $\leq 1,2$ на L_1	$1,0$ на $L_1^{(1)}$
		$1,0^{(1)}$				

Таблица G.1 (продолжение)

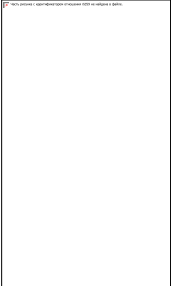

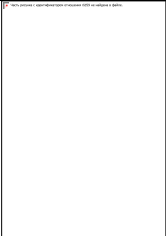


Симметричные связи жесткости			Несимметричные связи жесткости			
Сечение			Сечение			
Ось	v-v	y-y	Ось	v-v	y-y	y-y
 Несимметричное			 Случай (d) Основные связи жесткости на двух концах			
 Симметричное Случай (b) Основные связи жесткости на одном конце и вспомогательные на другом			  Случай (e)	$0,8 + \frac{\bar{\lambda}}{10}$ но $\geq 0,9$ и $\leq 1,0$ на $L_2^{(2)}$	$0,8 + \frac{\bar{\lambda}}{10}$ но $\geq 0,9$ и $\leq 1,0$ на L_1	$1,0$ на $L_1^{(1)}$

Таблица G.1 (продолжение)

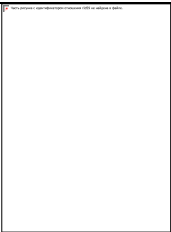
Симметричные связи жесткости			Несимметричные связи жесткости			
Сечение			Сечение			
Ось	v-v	y-y	Ось	v-v	y-y	y-y
 <p>Случай (с) Вспомогательные связи на двух концах</p>	$0,8 \sqrt{\frac{\lambda}{10}}$ но $\geq 0,9$ и $\leq 1,0$	1,0				
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1 Коэффициент уменьшения может быть подтвержден расчетом.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2 Критично только при использовании в значительной степени неравнобокого углового профиля.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3 Вышеприведенные значения применяются только в отношении уголков 90°.</p>						

Таблица G.2 — Эффективный коэффициент гибкости k для элементов связей жесткости

(а) Одно- и двухболтовые соединения углового профиля

Тип закрепления	Примеры	Ось	k
Шарнирное с обоих концов (т.е. одноболтовое соединение с обоих концов элемента)		v-v	$0,7 + \frac{0,35}{\sqrt{\lambda_v}}$
		y-y	$0,7 + \frac{0,58}{\sqrt{\lambda_y}}$
		z-z	$0,7 + \frac{0,58}{\sqrt{\lambda_z}}$

Таблица G.2 (продолжение)


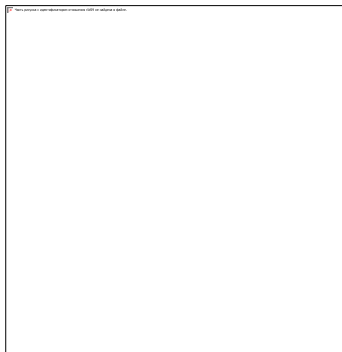
Тип закрепления	Примеры	Ось	k
Жесткое с одного конца (т. е. одноболтовое соединение с одного конца и двухболтовое или неразрезное с другого конца элемента)		v-v	$0,7 + \frac{0,35}{\overline{\lambda}_v}$
		y-y	$0,7 + \frac{0,40}{\overline{\lambda}_y}$
		z-z	$0,7 + \frac{0,40}{\overline{\lambda}_z}$
Жесткое с обоих концов (т.е. двухболтовое соединение с обоих концов, двухболтовое соединение с одного конца и неразрезное с другого конца, или неразрезное соединение с обоих концов элемента)		v-v	$0,7 + \frac{0,35}{\overline{\lambda}_v}$
		y-y	$0,7 + \frac{0,40}{\overline{\lambda}_y}$
		z-z	$0,7 + \frac{0,40}{\overline{\lambda}_z}$
ПРИМЕЧАНИЕ 1 Вышеуказанные части приведены только в качестве примера и могут не отражать фактические проектные планы.			
ПРИМЕЧАНИЕ 2 Показаны детали для соединения к полкам уголкового профиля. Коэффициент k применяется в равной степени к соединениям к стойкам трубчатого или круглого сплошного сечения с помощью приваренных фасонки.			

Таблица G.2 — Эффективный коэффициент гибкости k для элементов связей жесткости

(б) Трубы и стержни


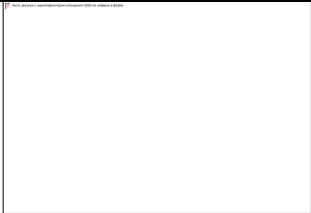
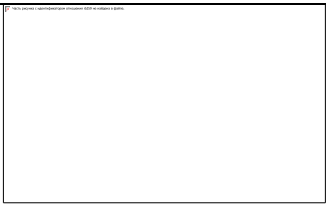

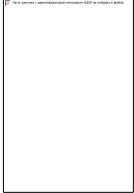
Стойки из труб или стержней	Тип		Ось	$k^{(3)(5)}$
		Труба, одноболтовое соединение	В плоскости	$0,95^{(2)}$
			Из плоскости	$0,95^{(2)}$
		Труба, двухболтовое соединение Сварные трубы с концевой соединением пластиной	В плоскости	0,85
			Из плоскости	$0,95^{(2)}$
		Сварные трубы ⁽¹⁾ и стержни с приваренными фасонками	В плоскости	0,70
			Из плоскости	0,85
		Трубы и стержни, сваренные двусторонней точечной сваркой	В плоскости	0,70
			Из плоскости	0,70
		Сварные изогнутые стержни	В плоскости	0,85
			Из плоскости	0,85

Таблица G.2 (продолжение)

<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1 Болты с предварительным натягом подпадают под это условие в зависимости от расчета.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2 Уменьшение только для строительной длины, но не менее расстояния между концевыми болтами.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3 Если концы не одинаковые, используется среднее значение «к».</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 4 Вышеуказанные части приведены только в качестве примера и могут не отражать фактические проектные планы.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 5 Вышеуказанные значения относятся к связывающим элементам одного типа на каждом конце. Для элементов с промежуточными вспомогательными связями коэффициент «к» может увеличиться, и следует применять верхнее значение 1,0, если иное не будет обосновано в процессе испытаний.</p>
--

Таблица G.3 — Коэффициент модификации (k_1) для горизонтальных К-образных связей без диафрагмы

Соотношение $\frac{N_t}{N_c}$	Коэффициент модификации (k_1)
0,0	0,73
0,2	0,67
0,4	0,62
0,6	0,57
0,8	0,53
1,0	0,50
Значение 1,0 применяется, если соотношение N_t/N_c отрицательное, т.е. оба элемента сжатые.	

Приложение Н
(информационное)

Расчетная длина при продольном изгибе и гибкость элементов

Н.1 Общие положения

(1) В данном Приложении приведена информация по определению гибкости и длины при продольном изгибе элементов мачт и башен.

Н.2 Опорные стойки

(1) Гибкость опорных стоек не должна, как правило, превышать 120.

(2) Для одиночных уголков, профилей трубчатого или сплошного круглого сечения, используемых для изготовления стоек, подверженных осевому сжатию, с симметричными связями жесткости в двух перпендикулярных плоскостях или в плоскостях под углом 60° (в случае треугольных конструкций), необходимо определять гибкость на основе взвешенной длины между узлами.

(3) Если связи жесткости расположены ступенчато в двух перпендикулярных плоскостях или в плоскостях под углом 60° (в случае треугольных конструкций), взвешенная длина принимается равной расстоянию между узлами. Гибкость в случае, приведенном в Таблице G.1, следует определять по Формуле (Н.1а) или (Н.1б) в зависимости от условий. Гибкость принимается равной:

— для уголков:

$$\lambda = \frac{L_1}{i_{yy}} \text{ или } \lambda = \frac{L_2}{i_{vv}}, \quad (\text{Н.1а})$$

— для труб:

$$\lambda = \frac{L_1}{i_{yy}}. \quad ,(\text{Н.1б})$$

ПРИМЕЧАНИЕ Значение $\lambda = \frac{L_2}{i_{vv}}$ может быть принято с запасом при более точном расчете с учетом реальных условий опирания концов.

(4) Составные элементы для стоек могут формироваться из двух уголков в виде крестообразного сечения или соединенными в тавр.

(5) Составные элементы, состоящие из двух уголков, соединенных в тавр, могут быть отделены небольшим интервалом и соединены с помощью распорных деталей и соединительных болтов. Их необходимо проверить на выпучивание по обеим осям прямоугольной системы координат в соответствии с 6.4.4 EN 1993-1-1. Максимальное расстояние между соединительными болтами в 6.4.4 EN 1993-1-1.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении может быть приведена информация о методике расчета, в которой максимальное расстояние между соединительными болтами превышает указанное в 6.4.4 EN 1993-1-1.

(6) Соединительные болты не обеспечивают полную совместную работу в случаях, если расстояние между уголками превышает $1,5t$, а характеристики необходимо рассчитывать с допущением, что интервал равен фактическому значению или $1,5t$, в зависимости от того, какая величина меньше, где t — толщина уголка. Если применяются соединительные планки в дополнение к соединительным болтам, необходимо принимать характеристики, соответствующие полному зазору. см. п. 6.4.4 EN 1993-1-1.

(7) Соединительные планки должны предотвращать относительный сдвиг двух уголков; если применяются болтовые соединения категорий А и В, см. п. 3.4 EN 1993-1-8, диаметр болтового отверстия должен быть уменьшен.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Условия (5)–(7) также применяются к составным элементам связей жесткости.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 В Национальном Приложении может быть приведена дополнительная информация.

Н.3 Связи жесткости

Н.3.1 Общие положения

(1) В отношении типовых схем основных связей жесткости, приведенных на Рисунке Н.1, применяются следующие правила. Вспомогательные связи жесткости можно использовать для разделения основных связей жесткости или элементов поясов, как показано, например, на Рисунке Н.1 (IA, IIА, IIIА, IVА) и Н.2.

(2) Гибкость λ для связей жесткости принимается равной

— для уголков

$$\lambda = \frac{L_{di}}{i_{vv}}; \quad (\text{Н.2a})$$

— для труб

$$\lambda = \frac{L_{di}}{i_{yy}} \quad (\text{Н.2б})$$

где

L_{di} определено на Рисунке Н.1

ПРИМЕЧАНИЕ значение $\lambda = \frac{L_{di}}{i_{vv}}$ может быть принято с запасом при более точном расчете с учетом реальных условий опирания концов.

(3) Гибкость λ основных связей жесткости не должна, как правило, превышать 180, а вспомогательных связей — 250. Для многораскосных перекрестных связей жесткости (Рисунки Н.1 (V)) общая гибкость не должна, как правило, превышать 350.

ПРИМЕЧАНИЕ Использование высокого коэффициента гибкости может привести к возможной вибрации отдельных элементов и их повреждению из-за изгиба при местных нагрузках.

Типовые схемы основных связей жесткости					
Параллельные или сужающиеся			Обычно сужающиеся		Обычно параллельные
					 Растянутый элемент
I Треугольная решетка	II Перекрестная решетка	III К-образная (полураскосная) решетка	IV Разрезная ромбическая решетка с неразрезными горизонтальными элементами	V Многораскосная перекрестная решетка	VI Крестовая (растянутая) решетка
$L_{di} = L_d$	$L_{di} = L_{d2}$	$L_{di} = L_{d2}$	$L_{di} = L_{d2}$		
Типовые схемы со вспомогательными связями жесткости (См. также Рисунок Н.2)				ПРИМЕЧАНИЕ растянутые элементы в схеме VI предназначены для выдерживания общего сдвига при растяжении, например	
					

IA	IIA	IIIA	IVIA	
Треугольная решетка	Ромбическая решетка $L_{di} = L_{d1}$	К-образная решетка $L_{di} = L_{d1}$ $L_{di} = L_{d2}$ для осей прямоугольной системы координат	Ромбическая решетка со вспомогательными элементами $L_{di} = L_{d2}$	

Рисунок Н.1 — Типовые схемы связей жесткости

Н.3.2 Треугольная решетка

(1) Треугольная решетка применяется при небольших нагрузках и относительно коротких длинах, например, в верхней части башен или легких мачт (см. Рисунок Н.1 (I)).

Н.3.3 Перекрестная решетка

(1) При условии, что нагрузка равномерно разделена на сжатие и растяжение, элементы соединяются в точке пересечения, а также при условии, что оба элемента неразрезные (см. Рисунок Н.1 (II)), центр пересечения может считаться точкой закрепления поперечно плоскости и в плоскости связи, а критическая взвешенная длина становится L_{d2} для малой оси.

(2) Если нагрузка неравномерно разделена на сжатие и растяжение, а также при условии, что оба элемента неразрезные, сжатые элементы необходимо проверить таким же образом на самую большую сжимающую силу. Кроме того, необходимо проверить, чтобы сумма сопротивлений продольному изгибу обоих сжатых элементов была, по меньшей мере, равна алгебраической сумме осевых сил, действующих на два элемента. При расчете сопротивлений продольному изгибу взвешенная длина принимается равной L_d , а радиус инерции равен радиусу инерции по оси прямоугольной системы координат, параллельной плоскости связи. Гибкость рассчитывается следующим образом:

— для уголков

$$\lambda = \frac{L_d}{i_{yy}} \text{ или } \frac{L_d}{i_{zz}} \quad (\text{Н.3a})$$

— для труб или профиля сплошного круглого сечения

$$\lambda = \frac{L_d}{i_{yy}}. \quad (\text{Н.3б})$$

ПРИМЕЧАНИЕ Если какой-либо из элементов разрезной, центр соединения может считаться защемлением только в поперечном направлении, если детализовка такова, что в обоих элементах эффективная поперечная жесткость обеспечивается соединением, а продольная осевая жесткость одинакова.

Н.3.4 Крестовая (растянутая) решетка

(1) Каждый диагональный элемент пары растянутых связывающих элементов и горизонтальные элементы должны выдерживать полную сдвигающую нагрузку на связи (см. Рисунок Н.1 (VI)).

ПРИМЕЧАНИЕ Системы, работающие на растяжение, восприимчивы к способу монтажа, модификациям и относительному перемещению. Необходимо проектирование с учетом начального растяжения связей и обеспечения взаимной поддержки в центральной точке пересечения для минимизации отклонения.

Н.3.5 Ромбическая решетка со вспомогательными элементами

(1) В случае введения вспомогательных элементов для развязки стоек (см. Рисунок Н.1 (IIA и IVA) и Рисунок Н.2 (a)), длину при продольном изгибе по минимальной оси необходимо принимать, как L_{d1} .

(2) Необходимо также проверить выпучивание длины L_{d2} поперечно связи по оси прямоугольной системы координат, а затем выпучивание длины L_d для определения алгебраической суммы осевых сил -см. Н.3.3.

Н.3.6 Разрезная ромбическая решетка с неразрезным горизонтальным элементом в центральной точке пересечения

(1) Горизонтальный элемент должен обладать достаточной жесткостью в поперечном направлении для обеспечения защемления в случае нагрузок, когда сжатие одного элемента превышает растяжение другого, или когда оба элемента подвержены сжатию, см. Рисунок Н.1 (IV).

(2) Это условие может быть выполнено следующим образом: горизонтальный элемент должен выдерживать (как сжатый элемент по всей длине по оси прямоугольной системы координат) алгебраическую сумму осевой силы в двух элементах поперечной связи, разложенной в горизонтальном направлении.

ПРИМЕЧАНИЕ Может возникнуть необходимость в дополнительном допуске на изгибающее напряжение, вызываемое в концевых элементах местными нагрузками, поперечными раме, например, ветром.

Н.3.7 Ромбическая решетка с диагональными угловыми элементами

(1) В некоторых схемах поперечных связей может быть предусмотрен угловой элемент в целях снижения приведенной длины поперечно плоскости связи (см. Рисунок Н.2(b)). Аналогичный порядок, используемый в отношении Н.3.3, можно применять для определения надлежащего заземления.

(2) В этом случае пять проверок продольного изгиба производятся следующим образом:

- продольный изгиб элемента при максимальной нагрузке на длину L_{d1} по минимальной оси;
- продольный изгиб элемента при максимальной нагрузке на длину L_{d2} по поперечной оси прямоугольной системы координат;
- продольный изгиб двух элементов поперечной связи при воздействии алгебраической суммы нагрузок в поперечной связи на длину L_{d3} по поперечной оси;
- продольный изгиб двух элементов (по одному в каждой из двух смежных граней) при воздействии алгебраической суммы нагрузок в двух элементах, соединенных диагональным связывающим элементом, по длине L_{d4} по поперечной оси;

ПРИМЕЧАНИЕ В этом случае общее сопротивление необходимо рассчитывать как сумму сопротивлений продольному изгибу обоих сжатых элементов (см. Н.3.3(2)).

- продольный изгиб четырех элементов (каждого элемента поперечной связи в двух смежных граней) при воздействии алгебраической суммы нагрузок во всех четырех элементах по длине L_d по поперечной оси.

Н.3.8 Диагональные элементы полураскосной решетки

(1) При отсутствии вспомогательных элементов (см. Рисунок Н.1(III)) критическая взвешенная длина может быть принята равной L_{d2} по малой оси.

(2) Если в гранях предусмотрены вспомогательные связи, но нет подкосов (см. Рисунок Н.1 (IIIА)), критическая взвешенная длина принимается равной L_{d2} по надлежащей оси прямоугольной системы координат. Таким образом, гибкость равна

$$\lambda = \frac{L_{d2}}{i_{yy}} \quad \text{или} \quad \frac{L_{d2}}{i_{zz}}, \quad (\text{Н.4})$$

(3) При наличии вспомогательных связей и треугольных связей (см. Рисунок Н.2(с)) необходимо применять надлежащую взвешенную длину L_{d4} между такими раскосными элементами для проверки изгиба в направлении, поперечном связям в грани по надлежащей оси прямоугольной системы координат. Таким образом, гибкость может приниматься, как

$$\lambda = \frac{L_{d4}}{i_{yy}} \quad \text{или} \quad \frac{L_{d4}}{i_{zz}}, \quad \text{для всех типов сечений} \quad (\text{Н.5})$$

Н.3.9 Горизонтальные элементы граней с горизонтальными диафрагмами

(1) Если длина горизонтальных элементов граней большая, возможна установка диафрагм для обеспечения поперечной устойчивости.

(2) Взвешенная длина горизонтального элемента при выпучивании принимается равной расстоянию между точками пересечения в диафрагме при выпучивании поперечно раме, и расстоянию между опорами в плане при выпучивании в плоскости рамы.

(3) Необходимо проявлять осторожность при выборе оси vv или осей прямоугольной системы координат элементов из одиночного уголка. Должна использоваться ось vv , если не предусмотрено подходящее закрепление с помощью связи в средней точке (или около нее) взвешенной длины.

В этом случае выпучивание необходимо проверять по оси vv на переходной части и по надлежащей оси прямоугольной системы координат по всей длине между защемлениями по такой оси.

ПРИМЕЧАНИЕ Данный метод может быть с запасом (консервативен) при более точном расчете с учетом реальных условий опирания концов.

(4) Если диафрагма не полностью триангулирована, необходимо предусмотреть дополнительный допуск на изгибающие напряжения в концевых элементах, вызываемые такими нагрузками, как ветер в направлении, поперечном раме -см. Рисунок Н.3.

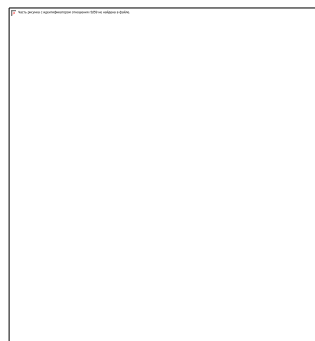
(5) Во избежание выпучивания в случаях, когда диафрагма не полностью триангулирована:

— горизонтальные диафрагмы должны проектироваться таким образом, чтобы они выдерживали сосредоточенную горизонтальную нагрузку $p \times H$, прилагаемую к середине элемента, где p — процент от максимальной осевой сжимающей силы H в элементах горизонтальной диафрагмы (см. Рисунок Н.4);

— отклонение горизонтальной диафрагмы под действием этой силы не должно превышать $L/500$.



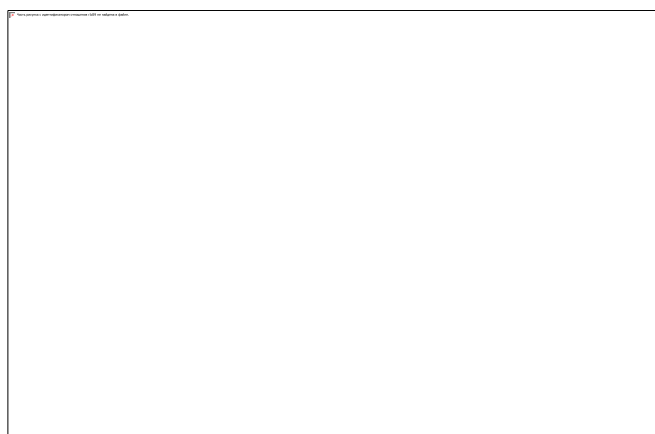
(a) [ПВ]



(b) [ПС]

Поперечная связь с диагональными
угловыми элементами

Полностью
триангулирован-
ные подкосы



(с) [ШВ]

- 1 — угловой подкос (ограниченного воздействия, если обе связи сжаты);
2 — Подкосы

Рисунок Н.2 — Использование систем вспомогательных связей

Триангулированные		
		<p>* если имеются две диагонали, их можно проектировать как растянутые элементы.</p>
Не полностью триангулированные (не рекомендуются для проектирования, если не уделено надлежащее внимание воздействию изгиба)		

Рисунок Н.3 — Типовые диафрагмы

Н.3.10 Горизонтальные элементы без диафрагм

(1) При небольшой ширине башен и в мачтах диафрагмы можно не устанавливать в соответствующих случаях при надлежащем обосновании.

(2) При выпучивании поперечно раме по длине L_h (см. Рисунок Н.4(а)) необходимо использовать радиус инерции в прямоугольной системе координат. Однако для элементов из одиночного уголка необходимо использовать радиус инерции по оси vv по длине L_{h2} , если не предусмотрено закрепление вспомогательными связями с определенным интервалом по длине; в таком случае взвешенная длина принимается равной L_{h1} -см. Рисунок Н.4(б).

ПРИМЕЧАНИЕ Данный метод может быть с запасом (консервативен) при более точном расчете с учетом реальных условий опирания концов.

(3) Во избежание выпучивания горизонтального элемента необходимо выполнять условия, приведенные в Н.3.9(5).

ПРИМЕЧАНИЕ Может возникнуть необходимость в дополнительном допуске на изгибающее напряжение, вызываемое в концевых элементах местными нагрузками, поперечными раме, например, ветром.

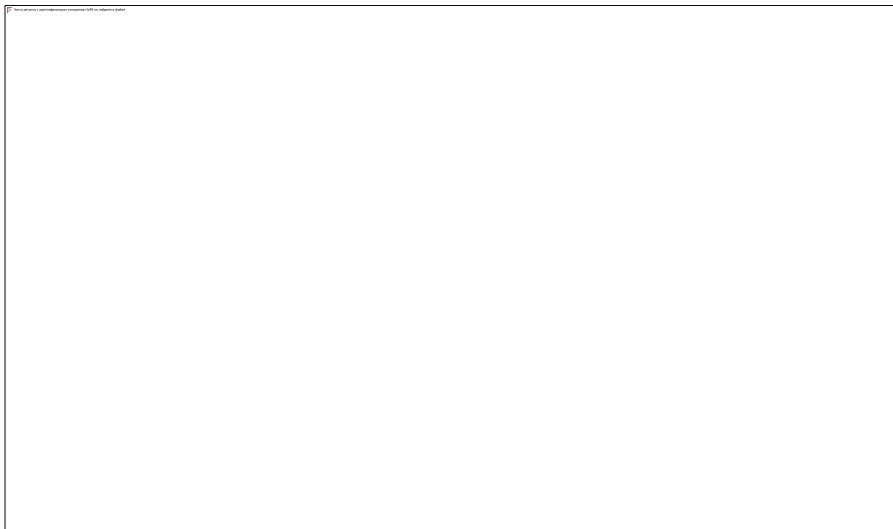


Рисунок Н.4 — Горизонтальные элементы *K*-образных раскосов без диафрагм

Н.3.11 Изогнутые К-образные раскосы

(1) При большей ширине башни в основные диагонали могут быть добавлены изгибы (см. Рисунок Н.5), что вызывает эффект сокращения длины и размера лишних связей. Поскольку это приводит к высокому напряжению элементов, пересекающихся на изгибе, в соединении необходимо предусмотреть поперечную опору. Диагональные и горизонтальные элементы необходимо проектировать, как для К-образных раскосов, взвешенные длины диагоналей при этом связаны с длинами до шарнирного соединения.

Н.3.12 Портальная рама

(1) Можно ввести в изгиб горизонтальный элемент для трансформации панели в порталную раму -см. Рисунок Н.6. Поскольку это ведет к отсутствию шарнирного соединения в К-образном раскосе, необходимо обратить особое внимание на осадку или смещение фундамента.

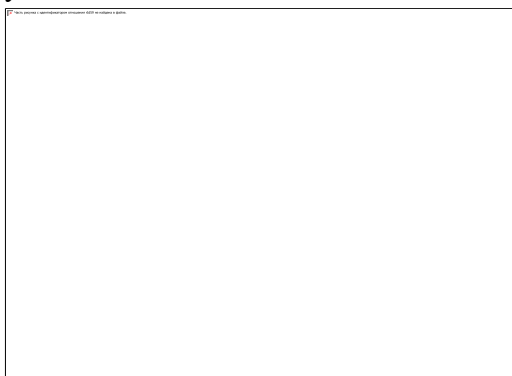


Рисунок Н.5 — Изогнутые К-образные раскосы

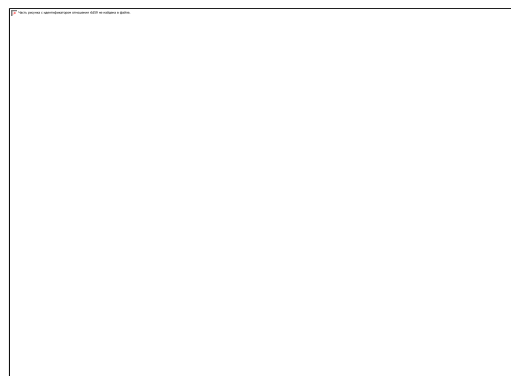


Рисунок Н.6 — Портальная рама

Н.3.13 Многораскосная перекрестная решетка

(1) При многораскосной решетчатой конфигурации связывающие элементы, которые являются неразрезными и соединены во всех точках пересечения, необходимо проектировать как вспомогательные элементы (см. Н.4) на взвешенной длине от опоры до опоры с надлежащим радиусом инерции i_{yy} или i_{zz} -см. Рисунок Н.7. В целях обеспечения устойчивости панели общая гибкость L/i_{yy} должна быть менее 350. Для элементов из одиночного уголка отношение i_{yy}/i_{vv} должно быть более 1,50, где i_{yy} — радиус поворота по оси, параллельной решетке в плане.

(2) Устойчивость элемента А-В, показанного на Рисунок Н.7, необходимо проверять с нагрузкой, прилагаемой к критической взвешенной длине L_o при гибкости:

— для уголков:

$$\lambda = \frac{L_o}{i_{vv}} \quad (\text{Н.6a})$$

— для труб и профиля сплошного круглого сечения:

$$\lambda = \frac{L_o}{i_{yy}}. \quad (\text{Н.6б})$$

ПРИМЕЧАНИЕ Значение $\lambda = \frac{L_o}{i_{vv}}$ может быть принято с запасом при более точном расчете с учетом реальных условий опирания концов.

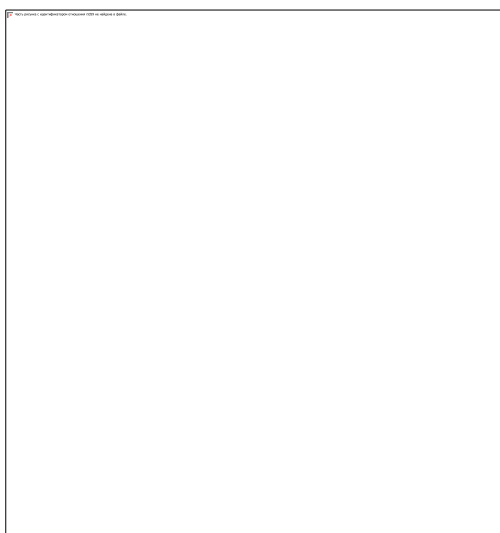


Рисунок Н.7 — Многограсская перекрестная решетка

Н.4 Вспомогательные связи жесткости

(1) Для учета всех несовершенств в опорных стойках, а также в целях проектирования вспомогательных связывающих элементов необходимо ввести условную силу, действующую поперечно опорной стойке (или к другой опоре вместо стойки), стабилизированной в узле присоединения связи жесткости. В зависимости от гибкости стабилизируемой опорной стойки, значение условной силы, применяемое в расчете какого-либо вспомогательного элемента, определяется согласно п.п. (2) и (3).

(2) Сила, прикладываемая к каждому узлу соединения связей в плане, определяется как процент p от осевой силы в опорной стойке и для различных величин гибкости опорной стойки может быть принята как:

$$p = 1,41, \quad \text{если} \quad \lambda < 30 \quad (\text{Н.7a})$$

$$p = \frac{(40 + \lambda)}{50}, \quad \text{если} \quad 30 \leq \lambda \leq 135 \quad (\text{Н.7б})$$

$$p = 3,5, \quad \text{если} \quad \lambda > 135 \quad (\text{Н.7с})$$

(3) Если в панели более одного промежуточного узла, то систему вспомогательных связей необходимо проверять отдельно при 2,5% осевой силы, действующей в опорной стойке, равномерно распределенной между всеми промежуточными узлами. Допускается, что эти условные силы действуют совместно и в одном направлении, под прямым углом к опоре и в плоскости системы связей.

(4) В обоих случаях (2) и (3) необходимо определить распределение сил в пределах триангулированной панели со вспомогательными связями методом линейного упругого расчета.

(5) Воздействие этой условной силы, как правило, прибавляется к основной силе, рассчитываемой в общем расчете при проектировании любого несущего элемента. Исключительно в отношении свободностоящих опор общепринятой конфигурации условная сила не прибавляется к основным силам при условии проведения проверки воздействия условной силы на основные связи, если основная сила меньше. При проектировании мачт с оттяжками воздействие условной силы всегда прибавляется к основной силе.

(6) Можно принять допущение о достаточной жесткости системы связей при условии, что она рассчитана с учетом условных сил согласно (1)–(5).

(7) Если основной несущий элемент нагружен эксцентрично, или угол между основной диагональю К-образных раскосов и опорой составляет менее 25°, то вышеуказанное значение условной силы может быть недостаточным, поэтому необходимо определить более точное значение с учетом момента эксцентриситета и вторичных напряжений в результате деформации опорной стойки.

(8) Если направление выпучивания находится вне плоскости связей, то значения, представленные Формулами Н.7 а), b) и с), необходимо разделить на коэффициент $\sqrt{2}$.

Н.5 Оболочковые конструкции

(1) См. прочность и устойчивость оболочковых конструкций – см. в EN 1993-1-6.

ПРИМЕЧАНИЕ Дополнительно – см. также EN 1993-3-2.

СП РК EN 1993-3-1:2006/2011
EN 1993-3-1:2006

УДК 624.014.2.07.04

МКС 91.010.30; 91.060.40

Ключевые слова: Стальные конструкции, проектирование, башни, мачты, дымовые трубы.

Ресми басылым

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҚҰРЫЛЫС ЖӘНЕ ТҰРҒЫН
ҮЙ-КОММУНАЛДЫҚ ШАРУАШЫЛЫҚ ІСТЕРІ КОМИТЕТІ

**Қазақстан Республикасының
ЕРЕЖЕЛЕР ЖИНАҒЫ**

ҚР ЕЖ EN 1993-3-1:2006/2011

**МҰНАРАЛАР, МАЧТАЛАР ЖӘНЕ ТҮТІН ҚҰБЫРЛАРЫ.
МҰНАРАЛАР МЕН МАЧТАЛАР**

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 РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ПО ДЕЛАМ
СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

**СВОД ПРАВИЛ
Республики Казахстан**

СП РК EN 1993-3-1:2006/2011

БАШНИ, МАЧТЫ И ДЫМОВЫЕ ТРУБЫ. БАШНИ И МАЧТЫ

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