

Еврокод 3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий

Еўракод 3

ПРАЕКТАВАННЕ СТАЛЬНЫХ КАНСТРУКЦЫЙ

Частка 1-1. Агульныя правілы і правілы для будынкаў

(EN 1993-1-1:2005, IDT)

Издание официальное

УДК 69+624.014.2.04

МКС 91.010.30; 91.080.10

КП 03

IDT

Ключевые слова: стальные конструкции, основные положения по расчету, предельные состояния, статический расчет, расчетные модели, несущая способность

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

1 ПОДГОТОВЛЕН техническим комитетом по стандартизации в области архитектуры и строительства «Металлические и деревянные конструкции» (ТКС 09) при научно-проектно-производственном республиканском унитарном предприятии «Стройтехнорм» (РУП «Стройтехнорм»)

ВНЕСЕН главным управлением научно-технической политики и лицензирования Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 10 декабря 2009 г. № 404

В Национальном комплексе технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства настоящий технический кодекс установившейся практики входит в блок 5.04 «Металлические конструкции и изделия»

3 Настоящий технический кодекс установившейся практики идентичен европейскому стандарту EN 1993-1-1:2005 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings (Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий).

Европейский стандарт разработан техническим комитетом по стандартизации CEN/TC 250 «Строительные Еврокоды».

Перевод с английского языка (en).

Официальные экземпляры европейского стандарта, на основе которого подготовлен настоящий технический кодекс установившейся практики, и европейских стандартов, на которые даны ссылки, имеются в Национальном фонде ТНПА.

В разделе «Нормативные ссылки» и тексте технического кодекса установившейся практики ссылочные европейские стандарты актуализированы.

Сведения о соответствии государственных стандартов ссылочным европейским стандартам приведены в дополнительном приложении Д.А.

Степень соответствия — идентичная (IDT)

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© Минстройархитектуры, 2009

Настоящий технический кодекс установившейся практики не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

Белорусская редакция**Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций
Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий**

Настоящий технический кодекс установившейся практики разработан на основе европейского стандарта, принятого CEN в мае 2005 г.

Члены Европейского комитета по стандартизации (CEN) обязаны выполнять регламент CEN/CENELEC, в котором содержатся условия, при которых европейскому стандарту придается статус национального стандарта без каких-либо изменений. Актуализированные списки данных национальных стандартов с их библиографическими данными можно получить в центральном секретариате или у любого члена CEN по запросу.

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

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



Европейский Комитет по стандартизации
Europäisches Komitee für Normung
European Committee for Standardization
Comitee Europeen de Normalisation

Введение к Еврокодам

Настоящий европейский стандарт EN 1993 «Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций» разработан техническим комитетом CEN/TC 250 «Строительные еврокоды», секретариат которого находится при BSI. CEN/TC 250 несет ответственность за все строительные Еврокоды.

Настоящий европейский стандарт должен получить статус национального стандарта посредством опубликования идентичного текста либо посредством получения подтверждения до ноября 2005 г. Все противоречащие национальные стандарты должны быть отменены до марта 2010 г.

Настоящий стандарт заменяет предварительный стандарт ENV 1993-1-1.

Согласно регламенту CEN/CENELEC национальные институты по стандартизации следующих стран договорились о принятии настоящего европейского стандарта: Австрии, Бельгии, Венгрии, Германии, Греции, Дании, Исландии, Испании, Ирландии, Италии, Кипра, Латвии, Литвы, Люксембурга, Мальты, Нидерландов, Норвегии, Польши, Португалии, Словакии, Словении, Великобритании, Финляндии, Франции, Чешской Республики, Швейцарии, Швеции и Эстонии.

История реализации 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 торговле и гармонизация технических требований.

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 стандарта (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 строительных Еврокодов включает следующие стандарты, каждый из которых, как правило, состоит из нескольких частей:

- EN 1990 Еврокод. Основные положения по расчету 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 признают ответственность органов управления каждой страны-члена и сохраняют за ними право устанавливать значения величин, относящихся к вопросам регулирования безопасности на национальном уровне, если эти значения отличаются в той или иной стране.

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

Статус и область применения Еврокодов

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

- как средство подтверждения соответствия зданий и сооружений гражданского назначения 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 ЕТА).

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

Еврокоды регламентируют общие правила расчета конструкций для повседневного применения при расчете конструкций в целом и элементов конструкций как традиционным, так и инновационным методами. Нетрадиционные формы строительства или условия проектирования отдельно не рассмотрены, и в каждом таком случае со стороны проектировщика требуется дополнительное экспертное рассмотрение.

Национальные стандарты, соответствующие Еврокодам

Национальные стандарты, соответствующие Еврокодам, должны содержать полный текст Еврокода (включая приложения), опубликованный СЕN, которому может предшествовать национальный титульный лист и национальное предисловие, и могут сопровождаться национальным приложением (справочным).

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 зданий и сооружений гражданского назначения 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;

- процедуру, если в Еврокоде приведены альтернативные процедуры.

Национальное приложение также может содержать:

- указания по применению справочных приложений;

- ссылки на дополнительную непротиворечивую информацию, предназначенную для содействия пользователю в применении Еврокода.

²⁾ В соответствии со статьей 3.3 СРD, основные требования (ER), должны иметь конкретную форму в пояснительных документах для обеспечения необходимых связей между основополагающими требованиями и мандатами для гармонизированных hEN и ЕТАG/ЕТА.

³⁾ В соответствии со статьей 12 СРD 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.

Такую же роль Еврокоды, фактически, играют в области основополагающего требования № 1 (ER1) и части основополагающего требования № 2 (ER2).

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

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

Дополнительная информация к EN 1993-1

EN 1993 следует использовать совместно с EN 1990 «Основы проектирования несущих конструкций», EN 1991 «Воздействия на конструкции» и EN 1992 – EN 1999 в части, касающейся стальных конструкций или их элементов.

EN 1993-1 является первой из шести частей EN 1993. В ней приведены общие правила проектирования, предназначенные для применения в EN 1993-2 – EN 1993-6. В ней также приведены дополнительные правила, применяемые только для зданий.

EN 1993-1 содержит двенадцать подразделов, EN 1993-1-1 – EN 1993-1-12, каждый из которых касается конкретных аспектов проектирования стальных элементов, предельных состояний или материалов.

EN 1993-1 также можно использовать для случаев, не охваченных Еврокодами (другие виды конструкций, другие воздействия, другие материалы), а также в качестве ссылочного документа для других технических комитетов CEN по вопросам строительства.

EN 1993-1 предназначен для использования:

- комитетами, занимающимися подготовкой стандартов на изделия, на ее испытания и изготовление;
- заказчиками (например, при детальном описании требований к заказу);
- проектировщиками и строителями;
- органами управления.

Численные значения частных коэффициентов безопасности и других параметров надежности рекомендованы в качестве основных значений, обеспечивающих приемлемый уровень надежности. Они установлены из условия обеспечения соответствующего уровня качества изготовления и менеджмента качества.

Национальное приложение к EN 1993-1-1

Настоящий стандарт содержит величины, отмеченные в примечаниях, на которые распространяется возможность выбора на национальном уровне. Поэтому национальный стандарт, соответствующий EN 1993-1-1, должен иметь национальное приложение, содержащее все национально устанавливаемые параметры, предназначенные для проектирования стальных сооружений, возводимых на территории конкретных стран.

EN 1993-1-1 устанавливает возможность выбора на национальном уровне в следующих пунктах:

- 2.3.1(1);
- 3.1(2);
- 3.2.1(1);
- 3.2.2(1);
- 3.2.3(1);
- 3.2.3(3)B;
- 3.2.4(1);
- 5.2.1(3);
- 5.2.2(8);
- 5.3.2(3);
- 5.3.2(11);
- 5.3.4(3);
- 6.1(1);
- 6.1(1)B;
- 6.3.2.2(2);

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).

- 6.3.2.3(1);
- 6.3.2.3(2);
- 6.3.2.4(1)В;
- 6.3.2.4(2)В;
- 6.3.3(5);
- 6.3.4(1);
- 7.2.1(1)В;
- 7.2.2(1)В;
- 7.2.3(1)В;
- ВВ.1.3(3)В.

Содержание

1	Общие положения.....	1
1.1	Область применения	1
1.2	Нормативные ссылки.....	2
1.3	Условия применения.....	3
1.4	Различие между принципами и правилами проектирования.....	3
1.5	Термины и определения.....	3
1.6	Обозначения.....	4
1.7	Условные обозначения осей элементов.....	10
2	Основные положения по расчету	12
2.1	Требования.....	12
2.1.1	Основные требования	12
2.1.2	Менеджмент надежности	12
2.1.3	Расчетный срок эксплуатации, долговечность и прочность	12
2.2	Принципы расчета по предельным состояниям	12
2.3	Базисные переменные	13
2.3.1	Воздействия и влияние окружающей среды	13
2.3.2	Свойства материалов и изделий.....	13
2.4	Расчет по методу частных коэффициентов безопасности	13
2.4.1	Расчетные значения свойств материалов.....	13
2.4.2	Расчетные значения геометрических характеристик	13
2.4.3	Расчетные значения несущей способности	13
2.4.4	Проверка статического равновесия (EQU).....	13
2.5	Расчет на основе результатов испытаний	14
3	Материалы.....	14
3.1	Общие положения.....	14
3.2	Конструкционная сталь.....	15
3.2.1	Свойства материалов	15
3.2.2	Требования к пластичности.....	15
3.2.3	Хрупкое разрушение	16
3.2.4	Свойства стали в направлении толщины проката	16
3.2.5	Допуски.....	16
3.2.6	Расчетные значения физических характеристик материалов	16
3.3	Соединения	17
3.3.1	Соединительные детали	17
3.3.2	Расходные материалы для сварных соединений	17
3.4	Другие изделия заводского изготовления для зданий	17
4	Долговечность	17

5	Расчет конструкций.....	17
5.1	Моделирование конструкций для расчета.....	17
5.1.1	Моделирование конструкций и основные допущения.....	17
5.1.2	Моделирование узлов.....	17
5.1.3	Взаимодействие основания и сооружения.....	18
5.2	Статический расчет.....	18
5.2.1	Влияние деформированной геометрии конструкции.....	18
5.2.2	Устойчивость рам.....	19
5.3	Несовершенства.....	20
5.3.1	Основные положения.....	20
5.3.2	Несовершенства при статическом расчете рам.....	20
5.3.3	Несовершенства при расчете систем связей.....	24
5.3.4	Несовершенства элемента.....	26
5.4	Методы расчета с учетом нелинейных свойств материалов.....	26
5.4.1	Общие положения.....	26
5.4.2	Упругий статический расчет.....	26
5.4.3	Пластический статический расчет.....	26
5.5	Классификация поперечных сечений.....	27
5.5.1	Основные положения.....	27
5.5.2	Классификация.....	27
5.6	Требования к поперечным сечениям при пластическом статическом расчете.....	28
6	Предельные состояния по несущей способности.....	31
6.1	Общие положения.....	31
6.2	Несущая способность поперечных сечений по прочности.....	31
6.2.1	Общие положения.....	31
6.2.2	Характеристики сечений.....	32
6.2.3	Центрально-растянутые элементы.....	34
6.2.4	Центрально-сжатые элементы.....	35
6.2.5	Изгибаемые элементы.....	35
6.2.6	Элементы, подверженные действию поперечной силы.....	36
6.2.7	Элементы, подверженные кручению.....	38
6.2.8	Элементы, подверженные действию изгибающего момента и поперечной силы.....	39
6.2.9	Элементы, подверженные действию осевой силы с изгибом.....	39
6.2.10	Элементы, подверженные действию изгибающего момента, поперечной и осевой силы.....	41
6.3	Несущая способность элементов по устойчивости.....	42
6.3.1	Центрально-сжатые элементы постоянного сечения.....	42
6.3.2	Изгибаемые элементы постоянного сечения.....	45
6.3.3	Сжато-изгибаемые (внецентренно сжатые) элементы постоянного сечения.....	49
6.3.4	Общий метод проверки устойчивости элементов при продольном изгибе и плоской форме изгиба.....	50
6.3.5	Потеря устойчивости плоской формы изгиба элементов с пластическими шарнирами.....	51

6.4 Сжатые сквозные элементы постоянного сечения.....	52
6.4.1 Общие положения	52
6.4.2 Сжатые элементы с раскосной решеткой	54
6.4.3 Сжатые элементы с планочной решеткой.....	56
6.4.4 Элементы составного сечения	57
7 Предельные состояния по эксплуатационной пригодности.....	58
7.1 Общие положения.....	58
7.2 Предельные состояния по эксплуатационной пригодности для зданий	58
7.2.1 Вертикальные прогибы.....	58
7.2.2 Горизонтальные перемещения.....	58
7.2.3 Динамические эффекты	58
Приложение А (справочное) Метод 1: Коэффициенты взаимодействия k_{ij} в формулах взаимодействия по 6.3.3(4).....	59
Приложение В (справочное) Метод 2: Коэффициенты взаимодействия k_{ij} в формулах взаимодействия по 6.3.3(4).....	61
Приложение АВ (справочное) Дополнительные расчетные предпосылки.....	63
Приложение ВВ (справочное) Потеря устойчивости элементов конструкций зданий.....	64
Приложение Д.А (справочное) Сведения о соответствии европейских стандартов, на которые даны ссылки, государственным стандартам, принятым в качестве идентичных государственных стандартов	74
Национальное приложение.....	75

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ

Еврокод 3
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий

Еурокод 3
ПРАЕКТАВАННЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦЫЙ
Частка 1-1. Агульныя правілы і правілы для будынкаў

Eurocode 3
Design of steel structures
Part 1-1. General rules and rules for buildings

Дата введения 2010-01-01

1 Общие положения

1.1 Область применения

1.1.1 Область применения Еврокода 3

(1) Еврокод 3 применяется для проектирования стальных конструкций зданий и сооружений гражданского назначения. Он соответствует принципам и техническим требованиям по безопасности и эксплуатации конструкций, основам их проектирования и расчета, приведенным в EN 1990 «Основы проектирования конструкций».

(2) Еврокод 3 охватывает только требования по несущей способности, эксплуатационной пригодности, долговечности и огнестойкости стальных конструкций. Иные требования, касающиеся, например, тепло- или звукоизоляции, не рассматриваются.

(3) Еврокод 3 следует применять совместно со следующими нормативными документами:

- EN 1990 Основы проектирования несущих конструкций;
- EN 1991 Воздействия на конструкции;
- EN, ETAG и ETA на строительные изделия, относящиеся к стальным конструкциям;
- EN 1090 Изготовление стальных конструкций. Технические требования;
- EN 1992 – EN 1999 в той их части, которая касается стальных конструкций или их элементов.

(4) Еврокод 3 подразделяется на следующие части:

- EN 1993-1 Проектирование стальных конструкций. Общие правила и правила для зданий
- EN 1993-2 Проектирование стальных конструкций. Стальные мосты
- EN 1993-3 Проектирование стальных конструкций. Башни, мачты и дымовые трубы
- EN 1993-4 Проектирование стальных конструкций. Силосы, резервуары и трубопроводы
- EN 1993-5 Проектирование стальных конструкций. Шпунты
- EN 1993-6 Проектирование стальных конструкций. Крановые конструкции.

(5) При использовании EN 1993-2 – EN 1993-6 необходимо учитывать общие правила, установленные в EN 1993-1. Правила, приведенные в EN 1993-2 – EN 1993-6, дополняют общие правила, установленные в EN 1993-1.

(6) EN 1993-1 «Общие правила и правила для зданий» включает:

- EN 1993-1-1 Проектирование стальных конструкций. Общие правила и правила для зданий
- EN 1993-1-2 Проектирование стальных конструкций. Общие правила. Проектирование конструкций с учетом огнестойкости

EN 1993-1-3 Проектирование стальных конструкций. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и листов

EN 1993-1-4 Проектирование стальных конструкций. Нержавеющие стали

EN 1993-1-5 Проектирование стальных конструкций. Пластинчатые элементы

EN 1993-1-6 Проектирование стальных конструкций. Прочность и устойчивость оболочек

EN 1993-1-7 Проектирование стальных конструкций. Прочность и устойчивость плоских листовых конструкций при действии поперечной нагрузки

EN 1993-1-8 Проектирование стальных конструкций. Расчет соединений

EN 1993-1-9 Проектирование стальных конструкций. Усталостная прочность стальных конструкций

EN 1993-1-10 Проектирование стальных конструкций. Выбор стали при расчете на прочность с учетом хрупкого разрушения и свойств стали в направлении толщины проката

EN 1993-1-11 Проектирование стальных конструкций. Проектирование конструкций со стальными элементами, работающими на растяжение

EN 1993-1-12 Проектирование стальных конструкций. Дополнительные правила для конструкций из высокопрочных сталей.

1.1.2 Область применения части 1.1 Еврокода 3

(1) В EN 1993-1-1 приведены основные правила проектирования конструкций из сталей толщиной $t \geq 3$ мм. Приведены также дополнительные положения по проектированию зданий из стальных конструкций. Эти дополнительные положения обозначены буквой «В», которая следует за номером абзаца, так: ()В.

Примечание — Для холодноформованных тонкостенных элементов и профилированных листов толщиной $t < 3$ мм см. EN 1993-1-3.

(2) EN 1993-1-1 содержит следующие разделы:

— раздел 1. Общие положения;

— раздел 2. Основы проектирования;

— раздел 3. Материалы;

— раздел 4. Долговечность;

— раздел 5. Расчет конструкций;

— раздел 6. Предельные состояния по несущей способности;

— раздел 7. Предельные состояния по эксплуатационной пригодности.

(3) Разделы 1–2 содержат дополнительные указания к EN 1990.

(4) В разделе 3 рассмотрены свойства материалов конструкций из низколегированных конструкционных сталей.

(5) В разделе 4 приведены общие правила по обеспечению долговечности.

(6) Раздел 5 касается расчета конструкций, при выполнении которого конструктивные элементы могут быть смоделированы с достаточной точностью как линейные элементы для статического расчета.

(7) В разделе 6 приведены подробные правила расчета поперечных сечений и элементов конструкций.

(8) В разделе 7 приведены правила оценки эксплуатационной пригодности.

1.2 Нормативные ссылки

Настоящий стандарт содержит датированные и недатированные ссылки на стандарты и положения других документов. Эти нормативные ссылки приведены в соответствующих местах текста, а документы перечислены ниже. Для датированных ссылок, последующие изменения или их пересмотр применяют в настоящем стандарте только при внесении в него изменений или пересмотре. Для недатированных ссылок применяют их последнее издание (включая изменения).

1.2.1 Основные стандарты

EN 1090 Изготовление стальных конструкций. Технические требования

EN ISO 12944 Краски и лаки. Защита стальных конструкций от коррозии с помощью систем защитной окраски

EN 1461 Горячее оцинкование чугуновых и стальных изделий заводского изготовления. Технические условия и методы испытаний.

1.2.2 Стандарты на свариваемые конструкционные стали

EN 10025-1:2004 Изделия из горячекатаных конструкционных сталей. Часть 1. Общие условия поставки

EN 10025-2:2004 Изделия из горячекатаных конструкционных сталей. Часть 2. Технические условия поставки нелегированных конструкционных сталей

EN 10025-3:2004 Изделия из горячекатаных конструкционных сталей. Часть 3. Технические условия поставки нормализованных/нормализованных в процессе прокатки свариваемых мелкозернистых конструкционных сталей

EN 10025-4:2004 Изделия из горячекатаных конструкционных сталей. Часть 4. Технические условия поставки термоупрочненных катаных свариваемых мелкозернистых конструкционных сталей

EN 10025-5:2004 Изделия из горячекатаных конструкционных сталей. Часть 5. Технические условия поставки конструкционных сталей повышенной стойкости к атмосферной коррозии

EN 10025-6:2004 Изделия из горячекатаных конструкционных сталей. Часть 6. Технические условия поставки листового проката из высокопрочных сталей, закаленных с последующим отпусканием

EN 10164:1993 Стальные изделия с улучшенными деформационными свойствами в направлении, перпендикулярном поверхности изделия. Технические условия поставки

EN 10210-1:1994 Горячедеформированные профили замкнутого сечения из нелегированных мелкозернистых конструкционных сталей. Часть 1. Технические требования поставки

EN 10219-1:1997 Холоднодеформированные профили замкнутого сечения из конструкционных сталей. Часть 1. Технические требования поставки.

1.3 Условия применения

(1) В дополнение к общим требованиям EN 1990 необходимо учитывать требования по изготовлению и сборке в соответствии с EN 1090.

1.4 Различие между принципами и правилами проектирования

(1) См. EN 1990, 1.4.

1.5 Термины и определения

(1) См. EN 1990, 1.5.

(2) В EN 1993-1-1 используются следующие термины и определения:

1.5.1 рама (frame): Конструкция в целом или ее часть, состоящая из отдельных взаимосвязанных конструктивных элементов, предназначенных для совместного сопротивления нагрузке; этот термин относится к рамам как сплошного, так и сквозного сечения. Он охватывает также плоские и пространственные рамы.

1.5.2 суб-рама (sub-frame): Вспомогательная рама, входящая в состав большей по размеру рамы, но рассматриваемая при расчете конструкций как отдельный элемент рамы.

1.5.3 типы рам (type of framing): Термин, используемый для отражения следующих различий между рамами:

— **полужесткая** (semi-continuous), при статическом расчете которой необходимо учитывать жесткость элементов и узлов;

— **жесткая** (continuous), при статическом расчете которой необходимо учитывать только жесткость элементов;

— **шарнирная** (simple), в которой конструктивные элементы сопряжены шарнирно.

1.5.4 статический расчет (global analysis): Определение внутренних усилий (сил и моментов) в конструкции от конкретной комбинации воздействий.

1.5.5 конструктивная длина (system length): Расстояние на заданной плоскости между двумя смежными точками, в которых элемент закреплен от бокового смещения в этой плоскости, или между одной такой точкой и концом элемента.

1.5.6 расчетная длина при продольном изгибе (buckling length): Условная длина элемента с шарнирами на концах, имеющего такую же несущую способность, что и заданный элемент или его отрезок.

1.5.7 эффект сдвигового запаздывания (shear lag effect): Неравномерное распределение напряжений в широких полках, обусловленное деформацией сдвига; он учитывается в расчетах путем использования приведенной «эффективной» ширины полки при оценке несущей способности.

1.5.8 расчет по предельной несущей способности (capacity design): Метод расчета, при котором в рассматриваемом элементе развиваются пластические деформации при условии обеспечения дополнительной прочности его соединений и других его частей.

1.5.9 однородный элемент (uniform member): Элемент постоянного поперечного сечения по длине.

1.6 Обозначения

(1) В настоящем стандарте применяются нижеследующие обозначения.

(2) Дополнительные обозначения и определения даны там, где они упоминаются впервые.

Примечание — Обозначения расположены в порядке появления в разделах EN 1993-1-1. Символы могут иметь различные значения.

Раздел 1

- $x - x$ — продольная ось элемента;
- $y - y$ — поперечная ось элемента;
- $z - z$ — поперечная ось элемента;
- $u - u$ — основная главная ось (не совпадает с осью $y - y$);
- $v - v$ — второстепенная главная ось (не совпадает с осью $z - z$);
- b — ширина поперечного сечения;
- h — высота поперечного сечения;
- d — высота прямой части стенки;
- t_w — толщина стенки;
- t_f — толщина полки;
- r — радиус сопряжения поверхностей;
- r_1 — радиус сопряжения полки со стенкой;
- r_2 — радиус закругления кромки полки;
- t — толщина.

Раздел 2

- P_k — номинальное значение предварительного напряжения, возникшего при возведении здания или сооружения;
- G_k — номинальное значение постоянного воздействия;
- X_k — нормативные значения свойств материалов;
- X_n — номинальные значения свойств материалов;
- R_d — расчетное значение несущей способности;
- R_k — нормативное значение несущей способности;
- γ_M — общий частный коэффициент безопасности;
- γ_{Mi} — рекомендуемые частные коэффициенты безопасности;
- γ_{Mf} — частный коэффициент безопасности при расчете на выносливость;
- η — коэффициент перехода;
- a_d — расчетное значение геометрической величины.

Раздел 3

- f_y — предел текучести;
- f_u — временное сопротивление;
- R_{eh} — предел текучести, принимаемый по стандартам на изделия;
- R_m — временное сопротивление, принимаемое по стандартам на изделия;
- A_0 — первоначальная площадь поперечного сечения;
- ε_y — деформация, соответствующая пределу текучести (упругая деформация);
- ε_u — деформация, соответствующая временному сопротивлению;
- Z_{Ed} — требуемое расчетное Z -значение, зависящее от значения стесненных деформаций металла от усадки сварного шва;
- Z_{Rd} — допустимое Z -значение;
- E — модуль упругости;
- G — модуль сдвига;
- ν — коэффициент Пуассона в упругой стадии;
- α — коэффициент термического расширения.

Раздел 5

- α_{cr} — коэффициент увеличения расчетной нагрузки, при котором будет достигнуто неустойчивое состояние в упругой стадии при статическом расчете;
- F_{Ed} — расчетная нагрузка на конструкцию;
- F_{cr} — критическая нагрузка при потере общей устойчивости в упругой стадии, определенная на основе начальных упругих жесткостей;
- H_{Ed} — расчетное значение горизонтальной реакции в основании этажа от приложения горизонтальных нагрузок и фиктивных горизонтальных нагрузок;
- V_{Ed} — суммарная расчетная вертикальная нагрузка на конструкцию в основании этажа;
- $\delta_{H,Ed}$ — горизонтальное смещение верха этажа относительно основания этажа;
- h — высота этажа;
- $\bar{\lambda}$ — условная гибкость;
- N_{Ed} — расчетное значение осевой силы;
- ϕ — общие начальные несовершенства в виде отклонений от вертикали;
- ϕ_0 — основное значение несовершенства в виде отклонений от вертикали;
- α_h — понижающий коэффициент, учитывающий высоту колонн h ;
- h — высота конструкции;
- α_m — понижающий коэффициент, учитывающий количество колонн в ряду;
- m — количество колонн в ряду, количество распределенных элементов;
- e_0 — максимальная амплитуда несовершенства элемента (отклонение);
- L — длина элемента связей;
- η_{init} — амплитуда отклонения элемента при потере устойчивости в упругой стадии;
- η_{cr} — отклонение элемента при потере устойчивости в упругой стадии;
- $e_{0,d}$ — расчетное значение максимальной амплитуды несовершенства;
- M_{Rk} — нормативное значение изгибающего момента, воспринимаемого критическим поперечным сечением;
- N_{Rk} — нормативное значение осевой силы, воспринимаемой критическим поперечным сечением;
- α — коэффициент несовершенства для соответствующей кривой потери устойчивости;
- $EI\eta''_{cr}$ — изгибающий момент от η_{cr} в критическом поперечном сечении;
- χ — понижающий коэффициент для соответствующей кривой потери устойчивости;
- $\alpha_{ult,k}$ — коэффициент минимального увеличения осевой силы для достижения нормативного значения несущей способности без учета потери устойчивости;
- α_{cr} — коэффициент минимального увеличения осевой силы для достижения потери устойчивости в упругой стадии;
- q — эквивалентная погонная нагрузка;
- δ_q — перемещение в плоскости системы связей;
- q_d — эквивалентная распределенная погонная нагрузка;
- M_{Ed} — расчетный изгибающий момент;
- k — коэффициент для $e_{0,d}$;
- ε — деформация;
- σ — напряжение;
- $\sigma_{com,Ed}$ — максимальное расчетное сжимающее напряжение в элементе;
- l — длина;
- ε — коэффициент, зависящий от f_y ;
- c — ширина или высота части поперечного сечения;
- α — сжатая часть поперечного сечения;
- ψ — коэффициент напряжения или деформации;
- k_σ — коэффициент потери устойчивости пластинки;
- d — высота сечения стенки в месте расположения пластического шарнира, наружный диаметр круглых трубчатых сечений.

Раздел 6

- γ_{M0} — частный коэффициент безопасности при определении несущей способности поперечных сечений по прочности независимо от класса;
- γ_{M1} — частный коэффициент безопасности при определении несущей способности элемента по устойчивости;
- γ_{M2} — частный коэффициент безопасности при определении несущей способности поперечных сечений с использованием временного сопротивления стали;
- $\sigma_{x,Ed}$ — расчетное значение нормальных напряжений, параллельных оси элемента;
- $\sigma_{z,Ed}$ — расчетное значение нормальных напряжений, параллельных оси элемента;
- τ_{Ed} — расчетное значение касательного напряжения;
- N_{Ed} — расчетная осевая сила;
- $M_{y,Ed}$ — расчетное значение изгибающего момента относительно оси $y - y$;
- $M_{z,Ed}$ — расчетное значение изгибающего момента относительно оси $z - z$;
- N_{Rd} — расчетное значение несущей способности по осевой силе;
- $M_{y,Rd}$ — расчетное значение несущей способности по изгибающему моменту относительно оси $y - y$;
- $M_{z,Rd}$ — расчетное значение несущей способности по изгибающему моменту относительно оси $z - z$;
- s — шаг при расположении в шахматном порядке, расстояние между центрами двух смежных отверстий, измеренное по линии, параллельной оси элемента;
- p — расстояние между центрами тех же двух отверстий, измеренное по линии, перпендикулярной к оси элемента;
- n — количество отверстий, расположенных на любой диагональной или зигзагообразной линии, проходящей через весь элемент или его часть;
- d_0 — диаметр отверстия;
- e_N — смещение нейтральной оси эффективной площади A_{eff} относительно центра тяжести поперечного сечения брутто;
- ΔM_{Ed} — дополнительный момент, вызванный смещением нейтральной оси эффективной площади A_{eff} относительно центра тяжести поперечного сечения брутто;
- A_{eff} — эффективная площадь поперечного сечения;
- $N_{t,Rd}$ — расчетное значение несущей способности поперечного сечения на растяжение;
- $N_{pl,Rd}$ — расчетное значение несущей способности поперечного сечения брутто в пластической стадии;
- $N_{u,Rd}$ — расчетное значение несущей способности поперечного сечения нетто в пластической стадии при наличии отверстий для болтов;
- A_{net} — площадь поперечного сечения нетто;
- $N_{net,Rd}$ — расчетное значение несущей способности поперечного сечения нетто на растяжение в пластической стадии;
- $N_{c,Rd}$ — расчетное значение несущей способности поперечного сечения при равномерном сжатии;
- $M_{c,Rd}$ — расчетное значение несущей способности на изгиб относительно одной из главных осей поперечного сечения;
- W_{pl} — момент сопротивления сечения в пластической стадии;
- $W_{el,min}$ — минимальный момент сопротивления сечения в упругой стадии;
- $W_{eff,min}$ — минимальный момент сопротивления эффективного сечения;
- A_f — площадь сечения растянутой полки;
- $A_{f,net}$ — площадь сечения нетто растянутой полки;
- V_{Ed} — расчетное значение поперечной силы;
- $V_{c,Rd}$ — расчетное значение несущей способности поперечного сечения на сдвиг;
- $V_{pl,Rd}$ — расчетное значение несущей способности поперечного сечения на сдвиг в пластической стадии;
- A_v — площадь сдвига;
- η — коэффициент для площади сдвига;
- S — статический момент сечения;
- I — момент инерции поперечного сечения;
- A_w — площадь поперечного сечения стенки;

A_f	— площадь сечения одной полки;
T_{Ed}	— расчетное значение суммарного крутящего момента;
T_{Rd}	— расчетное значение несущей способности поперечного сечения при кручении;
$T_{t,Ed}$	— расчетное значение внутреннего крутящего момента Сен-Венана;
$T_{w,Ed}$	— расчетное значение внутреннего крутящего момента при стесненном кручении;
$\tau_{t,Ed}$	— расчетное значение касательных напряжений, вызванных крутящим моментом Сен-Венана;
$\tau_{w,Ed}$	— расчетное значение касательных напряжений, вызванных стесненным кручением;
$\sigma_{w,Ed}$	— расчетное значение нормальных напряжений, вызванных бимоментом B_{Ed} ;
B_{Ed}	— бимомент;
$V_{pl,T,Rd}$	— уменьшенное расчетное значение несущей способности на сдвиг в пластической стадии с учетом влияния кручения;
ρ	— понижающий коэффициент для определения уменьшенных расчетных значений несущей способности на изгиб, учитывающий влияние поперечной силы;
$M_{V,Rd}$	— уменьшенное расчетное значение несущей способности на изгиб с учетом сдвигающей силы;
$M_{N,Rd}$	— уменьшенная расчетная несущая способность на изгиб в пластической стадии с учетом действия осевой силы;
n	— отношение расчетной осевой силы к расчетной несущей способности поперечного сечения брутто при действии осевой силы в пластической стадии;
a	— отношение площади сечения стенки к площади брутто;
α	— параметр, учитывающий эффект двухосного изгиба;
β	— параметр, учитывающий эффект двухосного изгиба;
$e_{N,y}$	— смещение центра тяжести эффективной площади A_{eff} относительно центра тяжести поперечного сечения брутто (ось $y - y$);
$e_{N,z}$	— смещение центра тяжести эффективной площади A_{eff} относительно центра тяжести поперечного сечения брутто (ось $z - z$);
$W_{eff,min}$	— минимальный момент сопротивления эффективного поперечного сечения;
$N_{b,Rd}$	— расчетное значение несущей способности сжатого элемента по устойчивости;
χ	— понижающий коэффициент для соответствующей кривой потери устойчивости;
Φ	— величина для определения понижающего коэффициента χ ;
a_0, a, b, c, d	— обозначения кривых продольного изгиба;
N_{cr}	— критическая сила для соответствующей формы потери устойчивости в упругой стадии, зависящая от характеристик поперечного сечения брутто;
i	— радиус инерции поперечного сечения брутто относительно соответствующей оси;
λ_1	— значение гибкости для определения условной гибкости;
$\bar{\lambda}_T$	— условная гибкость при крутильной или изгибно-крутильной форме потери устойчивости;
$N_{cr,TF}$	— критическая сила потери устойчивости в упругой стадии по изгибно-крутильной форме;
$N_{cr,T}$	— критическая сила потери устойчивости в упругой стадии по крутильной форме;
$M_{b,Rd}$	— расчетное значение несущей способности изгибаемого элемента по устойчивости плоской формы изгиба;
χ_{LT}	— понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба;
Φ_{LT}	— величина для определения понижающего коэффициента χ_{LT} ;
α_{LT}	— коэффициент, учитывающий начальные несовершенства;
$\bar{\lambda}_{LT}$	— условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба;
M_{cr}	— критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии;
$\bar{\lambda}_{LT,0}$	— прямолинейный участок кривых потери устойчивости плоской формы изгиба для прокатных сечений;
β	— поправочный коэффициент для кривых потери устойчивости плоской формы изгиба для прокатных сечений;

$\chi_{LT,mod}$	— приведенный понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба;
f	— поправочный коэффициент для χ_{LT} ;
L_c	— расстояние между точками раскрепления сжатой полки от поперечного смещения;
k_c	— поправочный коэффициент, учитывающий изменение изгибающего момента между элементами бокового раскрепления;
ψ	— отношение значений моментов на участке;
$\bar{\lambda}_f$	— условная гибкость эквивалентной сжатой полки сечения;
$i_{f,z}$	— радиус инерции эквивалентной сжатой полки сечения относительно второстепенной оси сечения;
$I_{eff,f}$	— момент инерции эффективного сечения сжатой полки относительно второстепенной оси сечения;
$A_{eff,f}$	— площадь эффективного сечения сжатой полки;
$A_{eff,w,c}$	— площадь эффективного сечения сжатой части стенки;
$\bar{\lambda}_{c,0}$	— предельное значение условной гибкости;
k_{fl}	— поправочный коэффициент;
ΔM_y	— момент от смещения центра тяжести относительно оси $y - y$;
ΔM_z	— момент от смещения центра тяжести относительно оси $z - z$;
χ_y	— понижающий коэффициент при плоской форме потере устойчивости относительно оси $y - y$ (продольный изгиб);
χ_z	— понижающий коэффициент при плоской форме потере устойчивости относительно оси $z - z$ (продольный изгиб);
k_{yy}	— коэффициент взаимодействия;
k_{yz}	— коэффициент взаимодействия;
k_{zy}	— коэффициент взаимодействия;
k_{zz}	— коэффициент взаимодействия;
$\bar{\lambda}_{op}$	— общая условная гибкость элемента конструкции;
χ_{op}	— понижающий коэффициент для условной гибкости $\bar{\lambda}_{op}$;
$\alpha_{ult,k}$	— минимальный коэффициент увеличения расчетных нагрузок для достижения нормативного значения несущей способности по устойчивости самого критического поперечного сечения;
$\alpha_{cr,op}$	— минимальный коэффициент увеличения расчетных нагрузок в плоскости для достижения конструктивным элементом упругого критического значения несущей способности по устойчивости продольного изгиба или плоской формы изгиба;
N_{Rk}	— нормативное значение несущей способности на сжатие;
$M_{y,Rk}$	— нормативное значение несущей способности на изгиб относительно оси $y - y$;
$M_{z,Rk}$	— нормативное значение несущей способности на изгиб относительно оси $z - z$;
Q_m	— локальная сила, приложенная к каждому элементу связей в местах образования пластического шарнира;
L_{stable}	— длина участков между раскреплениями (устойчивая длина);
L_{ch}	— расчетная длина ветвей;
h_0	— расстояние между центрами тяжести сечений ветвей сквозной колонны;
a	— расстояние между узлами решетки сквозной колонны;
α	— угол между осями ветвей и раскосами;
i_{min}	— минимальный радиус инерции одиночных уголков;
A_{ch}	— площадь поперечного сечения одной ветви сквозной колонны;
$N_{ch,Ed}$	— расчетные усилия в ветвях;
M'_{Ed}	— расчетное значение максимального момента, возникающего в середине длины сквозного элемента;
I_{eff}	— момент инерции эффективного сечения сквозного элемента;
S_v	— сдвиговая жесткость колонны с раскосной или планочной решеткой;
n	— количество плоскостей решетки;
A_d	— площадь сечения одного раскоса сквозной колонны;
d	— длина раскоса сквозной колонны;

- A_V — площадь сечения одной стойки (или поперечного сечения элемента) сквозной колонны;
 I_{ch} — момент инерции сечения одной ветви в плоскости решетки;
 I_b — момент инерции сечения одной планки в плоскости решетки;
 μ — коэффициент эффективности;
 i_y — радиус инерции сечения относительно оси $y - y$.

Приложение А

- $C_{m,y}$ — коэффициент перехода к эквивалентной прямоугольной эпюре моментов;
 $C_{m,z}$ — коэффициент перехода к эквивалентной прямоугольной эпюре моментов;
 $C_{m,LT}$ — коэффициент перехода к эквивалентной прямоугольной эпюре моментов;
 μ_y — коэффициент;
 μ_z — коэффициент;
 $N_{cr,y}$ — критическая сила плоской формы потери устойчивости относительно оси $y - y$ в упругой стадии;
 $N_{cr,z}$ — критическая сила плоской формы потери устойчивости относительно оси $z - z$ в упругой стадии;
 C_{yy} — коэффициент;
 C_{yz} — коэффициент;
 C_{zy} — коэффициент;
 C_{zz} — коэффициент;
 w_y — коэффициент;
 w_z — коэффициент;
 n_{pl} — коэффициент;
 $\bar{\lambda}_{max}$ — максимальное значение $\bar{\lambda}_y$ или $\bar{\lambda}_z$;
 b_{LT} — коэффициент;
 c_{LT} — коэффициент;
 d_{LT} — коэффициент;
 e_{LT} — коэффициент;
 ψ_y — соотношение моментов на концах элемента вдоль оси $y - y$;
 $C_{m,y,0}$ — коэффициент;
 $C_{m,z,0}$ — коэффициент;
 a_{LT} — коэффициент;
 I_T — момент инерции поперечного сечения при свободном кручении (постоянная Сен-Венана);
 I_y — момент инерции сечения относительно оси $y - y$;
 $M_{i,Ed(x)}$ — максимальный момент первого рода;
 $|\delta_x|$ — максимальный прогиб элемента.

Приложение В

- α_s — коэффициент;
 α_h — коэффициент;
 C_m — коэффициент перехода к эквивалентной прямоугольной эпюре моментов.

Приложение АВ

- γ_G — частный коэффициент безопасности для постоянных нагрузок;
 G_k — расчетное значение постоянных нагрузок;
 γ_Q — частный коэффициент безопасности для переменных нагрузок;
 Q_k — расчетное значение переменных нагрузок.

Приложение ВВ

- $\bar{\lambda}_{eff,v}$ — условная гибкость сквозного элемента относительно оси $v - v$;
 $\bar{\lambda}_{eff,y}$ — условная гибкость сквозного элемента относительно оси $y - y$;
 $\bar{\lambda}_{eff,z}$ — условная гибкость сквозного сечения относительно оси $z - z$;
 L — конструктивная длина;
 L_{cr} — расчетная длина при проверке устойчивости;
 S — сдвиговая жесткость, обеспеченная креплением профилированного настила к балке в каждой волне;

- I_w — секториальный момент инерции поперечного сечения;
 $C_{\vartheta,k}$ — крутильная жесткость при непрерывном раскреплении сплошной средой (например, диском покрытия) или связями;
 K_{ν} — коэффициент, учитывающий тип расчета;
 K_{ϑ} — коэффициент, учитывающий распределение моментов и тип опорных закреплений;
 $C_{\vartheta,R,k}$ — крутильная жесткость, обеспеченная устойчивой сплошной конструкцией, жестко соединенной с балкой;
 $C_{\vartheta,C,k}$ — крутильная жесткость объединительных деталей между балкой и устойчивой сплошной конструкцией;
 $C_{\vartheta,D,k}$ — крутильная жесткость, обусловленная деформациями искривления поперечных сечений балки;
 L_m — устойчивая длина между смежными раскреплениями от поперечного смещения балки;
 L_k — устойчивая длина между смежными раскреплениями от кручения;
 L_s — устойчивая длина между шарниром пластичности и смежным раскреплением от кручения;
 C_1 — поправочный коэффициент, учитывающий распределение моментов;
 C_m — поправочный коэффициент для линейно изменяющегося момента;
 C_n — поправочный коэффициент для нелинейно изменяющегося момента;
 a — расстояние между центром тяжести сечения элемента с пластическим шарниром и центром тяжести сечения элемента раскрепления;
 B_0 — коэффициент;
 B_1 — коэффициент;
 B_2 — коэффициент;
 η — отношение критических значений осевых сил;
 i_s — радиус инерции относительно центра тяжести элемента раскрепления;
 β_t — отношение алгебраически меньшего концевой момента к большему концевому моменту;
 R_1 — момент в определенной точке элемента;
 R_2 — момент в определенной точке элемента;
 R_3 — момент в определенной точке элемента;
 R_4 — момент в определенной точке элемента;
 R_5 — момент в определенной точке элемента;
 R_E — максимальное значение между R_1 или R_5 ;
 R_S — максимальное значение R по всей длине L_y ;
 c — коэффициент сужения;
 h_h — дополнительная высота вута или сужения;
 h_{\max} — максимальная высота поперечного сечения в пределах длины L_y ;
 h_{\min} — минимальная высота поперечного сечения в пределах длины L_y ;
 h_s — вертикальная высота части сечения вута;
 L_h — длина вута в пределах длины L_y ;
 L_y — расстояние между точками раскрепления сжатой полки от бокового смещения.

1.7 Условные обозначения осей элементов

(1) Условные обозначения осей элементов следующие:

$x - x$ — продольная ось элемента; $y - y$ — поперечная ось элемента; $z - z$ — поперечная ось элемента.

(2) Условные обозначения, применяемые для поперечных осей стальных элементов:

а) в общем случае:

- $y - y$ — поперечная ось сечения, параллельная полкам;
- $z - z$ — поперечная ось сечения, перпендикулярная полкам;

б) для углового профиля:

- $y - y$ — ось сечения, параллельная меньшей стороне;
- $z - z$ — ось сечения, перпендикулярная меньшей стороне;

в) в необходимых случаях:

- $u - u$ — основная главная ось (не совпадает с осью $y - y$);
- $v - v$ — второстепенная главная ось (не совпадает с осью $z - z$).

(3) Символы, используемые для обозначения размеров и осей прокатных профилей, показаны на рисунке 1.1.

(4) Индекс в обозначении момента обозначает ось, относительно которой действует момент.

Примечание — В настоящем Еврокоде используются геометрические характеристики сечений относительно главных осей, которые обычно обозначаются как $y - y$ и $z - z$; для сечений, таких как уголки, они обозначаются как $u - u$ и $v - v$.

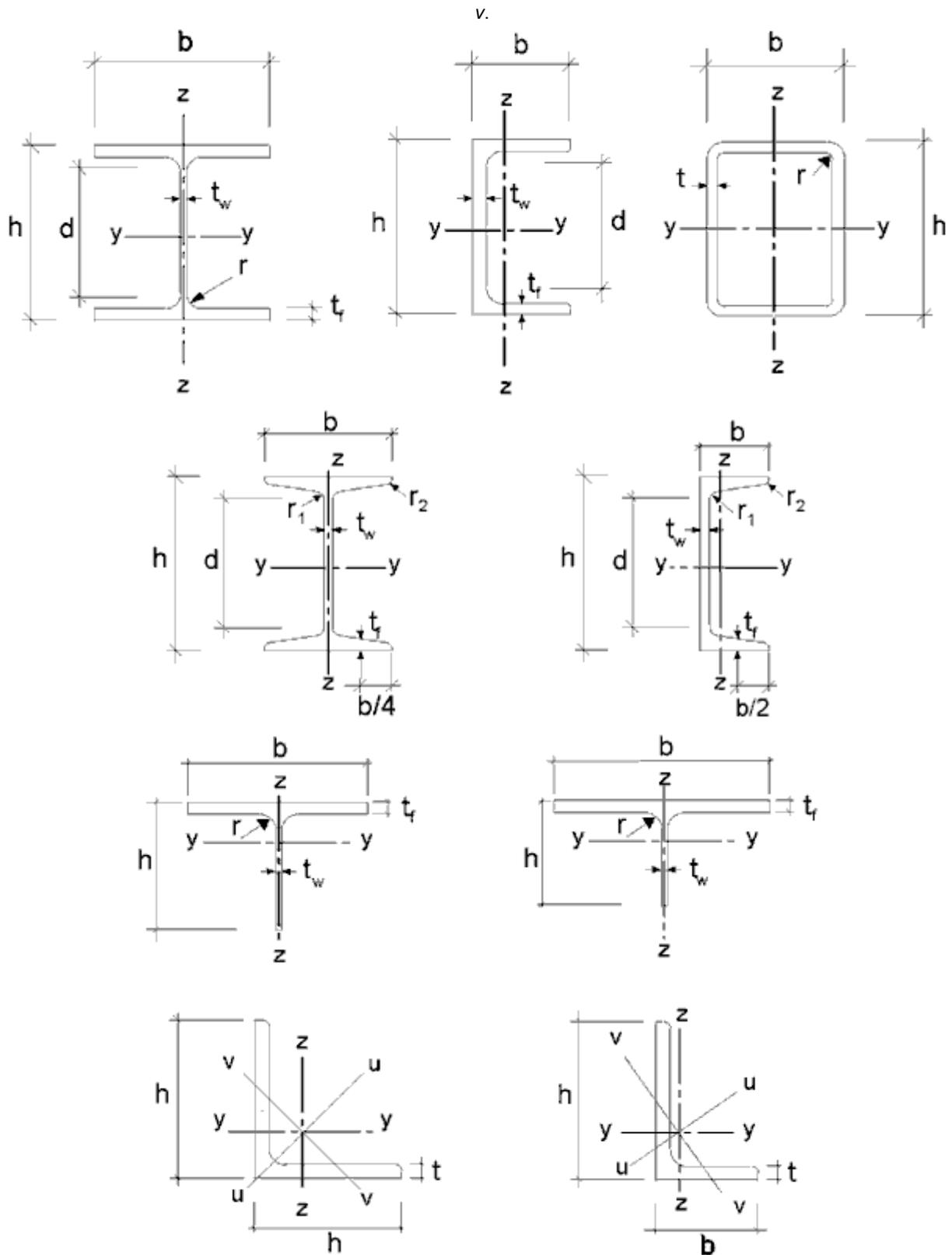


Рисунок 1.1 — Размеры и оси сечений

2 Основные положения по расчету

2.1 Требования

2.1.1 Основные требования

(1) Проектирование стальных конструкций следует осуществлять в соответствии с общими правилами, приведенными в EN 1990.

(2) Также следует выполнять дополнительные требования настоящего раздела, касающиеся стальных конструкций.

(3) Основные требования раздела 2 EN 1990 должны быть выполнены путем расчета по методу предельных состояний с использованием частных коэффициентов безопасности, приведенных в EN 1990, и сочетаний нагрузок, приведенных в EN 1991.

(4) Обеспечение несущей способности, эксплуатационной пригодности и долговечности осуществляется по правилам, приведенным в различных частях EN 1993.

2.1.2 Менеджмент надежности

(1) Уровни надежности предпочтительно обеспечивать соответствующим выбором менеджмента качества проектирования и изготовления согласно приложению С EN 1990 и EN 1090.

2.1.3 Расчетный срок эксплуатации, долговечность и прочность

2.1.3.1 Общие сведения

(1) В зависимости от вида воздействий, влияющих на долговечность и расчетный срок эксплуатации (см. EN 1990), необходимо:

- а) при проектировании стальных конструкций обеспечивать антикоррозионную стойкость посредством:
 - соответствующей защиты поверхности (см. EN ISO 12944);
 - применения стали, стойкой к атмосферной коррозии;
 - применения нержавеющей стали (см. EN 1993-1-4);

б) предусматривать меры по обеспечению достаточной усталостной долговечности стальных конструкций (см. EN 1993-1-9);

в) проектировать конструкции с учетом износа;

г) рассчитывать конструкции на аварийные воздействия (см. EN 1991-1-7);

д) подвергать конструкции осмотру и поддерживать их техническое состояние.

2.1.3.2 Расчетный срок службы зданий и сооружений

(1) Расчетный срок эксплуатации следует принимать равным периоду, на протяжении которого здание предполагается использовать по его функциональному назначению.

(2) Для определения предполагаемого расчетного срока эксплуатации здания см. таблицу 2.1 EN 1990.

(3) Конструктивные элементы, которые не могут быть запроектированы на общий расчетный срок службы здания, см. 2.1.3.3(3)В.

2.1.3.3 Долговечность зданий

(1) Для обеспечения долговечности зданий и их составных элементов следует либо проектировать их с учетом воздействий окружающей среды и усталости, если она имеет место, либо защищать их от этих воздействий.

(2) Негативное воздействие старения материалов, коррозии или усталости следует снижать путем надлежащего выбора материалов, см. EN 1993-1-4 и EN 1993-1-10, и деталей, см. EN 1993-1-9, или путем конструктивного запаса и выбора соответствующей системы защиты от коррозии.

(3) Если здание включает элементы, нуждающиеся в замене (например, опоры в зоне осадки грунта), необходимо проверить возможность их безопасной замены, рассматривая ее как кратковременную проектную ситуацию.

2.2 Принципы расчета по предельным состояниям

(1) Определение несущей способности поперечных сечений и конструктивных элементов по предельным состояниям, характеристика которых приведена в EN 1990, 3.3, базируется на результатах испытаний, в ходе которых имела место пластичность материалов, достаточная для принятия упрощенных расчетных моделей.

(2) Поэтому значения несущей способности, приведенные в этой части Еврокода, можно применять при условии соблюдения требований к материалам, приведенным в разделе 3.

2.3 Базисные переменные

2.3.1 Воздействия и влияние окружающей среды

(1) Значение воздействий при проектировании стальных конструкций следует принимать по EN 1991. Сочетания воздействий и значения частных коэффициентов безопасности — см. приложение А EN 1990.

Примечание 1 — Национальное приложение может устанавливать воздействия для особых региональных, климатических и аварийных ситуаций.

Примечание 2В — При пропорциональном нагружении шаговым методом см. раздел АВ.1 (приложение АВ).

Примечание 3В — Упрощенные сочетания нагрузок — см. раздел АВ.2 (приложение АВ).

(2) Воздействия на стадии возведения принимаются по EN 1991-1-6.

(3) При необходимости учета предполагаемых абсолютных и неравномерных осадок предпочтительно использовать наиболее достоверные методы оценки приложенных деформаций.

(4) Влияние неравномерных осадок или приложенных деформаций или других видов преднапряжения, возникающих при возведении зданий или сооружений, следует учитывать в расчете по их нормативной величине P_k как постоянные воздействия и принимать с другими постоянными воздействиями G_k как единое воздействие ($G_k + P_k$).

(5) Усталостные воздействия, не рассмотренные в EN 1991, следует определять по приложению А EN 1993-1-9.

2.3.2 Свойства материалов и изделий

(1) Свойства материалов для стальных и других строительных изделий и геометрические параметры, используемые при проектировании, следует определять по соответствующим EN, ETAG или ETA, если эти свойства не приведены в настоящем стандарте.

2.4 Расчет по методу частных коэффициентов безопасности

2.4.1 Расчетные значения свойств материалов

(1) При расчете стальных конструкций нормативные значения X_k или номинальные значения X_n свойств материалов следует применять согласно указаниям настоящего Еврокода.

2.4.2 Расчетные значения геометрических характеристик

(1) Геометрические характеристики поперечных сечений и систем можно принимать по стандартам hEN на изделия или по рабочим чертежам в соответствии с EN 1090 и рассматривать как номинальные величины.

(2) Расчетные значения отклонений геометрических размеров от проектных значений, приведенные в этом стандарте, эквивалентны геометрическим расчетным отклонениям, учитывающим:

— геометрические отклонения элементов, на которые установлены геометрические допуски в стандартах на изделия и стандартах на их изготовление;

— конструктивные отклонения при изготовлении и возведении;

— остаточные деформации;

— изменчивость предела текучести.

2.4.3 Расчетные значения несущей способности

(1) Для стальных конструкций применяется равенство (6.6с) или (6.6d) EN 1990.

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} = \frac{1}{\gamma_M} R_k (\eta_1 X_{k1}; \eta_i X_{ki}; a_d), \quad (2.1)$$

где R_k — нормативное значение несущей способности для конкретного расчетного случая, определяемое по нормативным или номинальным значениям свойств материалов и размеров;

γ_M — общий частный коэффициент безопасности для конкретного расчетного случая.

Примечание — Определение η_1 , η_i , X_{k1} , X_{ki} и a_d — по EN 1990.

2.4.4 Проверка статического равновесия (EQU)

(1) Уровень надежности при проверке статического равновесия, изложенный в таблице 1.2(A) приложения А EN 1990, применим также к расчетным ситуациям, эквивалентным (EQU), например, при расчете фундаментных анкеров или при регулировании уровня опор неразрезных балок.

2.5 Расчет на основе результатов испытаний

(1) Нормативные значения несущей способности R_k в этом стандарте следует определять по приложению D EN 1990.

(2) Для рекомендуемых классов постоянных значений частных коэффициентов безопасности γ_{Mi} нормативные значения R_k определены по формуле

$$R_k = R_d \gamma_{Mi}, \quad (2.2)$$

где R_d — расчетное значение несущей способности, принимаемое согласно приложению D EN 1990;
 γ_{Mi} — рекомендуемые частные коэффициенты безопасности.

Примечание 1 — Численные значения рекомендуемых частных коэффициентов безопасности γ_{Mi} определены таким образом, чтобы квантиль R_k составлял приблизительно 5 % для бесконечного числа испытаний.

Примечание 2 — Нормативные значения усталостной прочности и значения частных коэффициентов безопасности γ_{Mf} в расчетах на выносливость см. EN 1993-1-9.

Примечание 3 — Нормативные значения несущей способности элементов с учетом сопротивления хрупкому разрушению см. EN 1993-1-10.

(3) Нормативные значения несущей способности R_k изделий заводского изготовления должны быть определены по результатам испытаний по процедуре (2).

3 Материалы

3.1 Общие положения

(1) При выполнении расчетов номинальные значения параметров свойств материалов, приведенные в данном разделе, следует принимать как нормативные.

(2) Эта часть EN 1993 предназначена для проектирования конструкций, изготовленных из сталей, соответствующих маркам, приведенным в таблице 3.1.

Примечание — Для других марок сталей см. национальное приложение.

Таблица 3.1 — Номинальные значения предела текучести f_y и временного сопротивления на растяжение f_u горячекатаной конструкционной стали

Стандарт и марка стали	Номинальная толщина элемента t , мм			
	$t \leq 40$		$40 < t \leq 80$	
	f_y , Н/мм ²	f_u , Н/мм ²	f_y , Н/мм ²	f_u , Н/мм ²
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				

S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
EN 10025-6 S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

Окончание таблицы 3.1 — Номинальные значения предела текучести f_y и временного сопротивления на растяжение f_u стали для конструктивных элементов замкнутого профиля

Стандарт и марка стали	Номинальная толщина элемента t , мм			
	$t \leq 40$		$40 < t \leq 80$	
	f_y , Н/мм ²	f_u , Н/мм ²	f_y , Н/мм ²	f_u , Н/мм ²
EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NHL	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
EN 10219-1				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 460 NH/NLH	460	550		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

3.2 Конструкционная сталь

3.2.1 Свойства материалов

(1) Номинальные значения предела текучести f_y и временного сопротивления f_u для конструкционной стали принимаются равными:

- а) либо: $f_y = R_{eh}$ и $f_u = R_m$ непосредственно по стандарту на прокат;
б) или по таблице 3.1.

Примечание — В национальном приложении может быть приведен конкретный вариант.

3.2.2 Требования к пластичности

(1) Минимальная пластичность сталей должна быть выражена предельными значениями следующих величин:

- f_u/f_y — отношение минимального значения временного сопротивления на растяжение f_u к минимальному значению предела текучести f_y ;
- относительное удлинение после разрыва образца длиной $5,65\sqrt{A_0}$ (где A_0 — начальная площадь поперечного сечения);
- предельная деформация ε_u , соответствующая временному сопротивлению f_u .

Примечание — Предельные значения отношения f_u/f_y , относительного удлинения при разрыве и предельной деформации ε_u могут быть приведены в национальном приложении. Рекомендуются следующие значения:

- $f_u/f_y > 1,10$;
- относительное удлинение после разрыва не менее 15 %;

— $\varepsilon_u > 15\varepsilon_y$, где ε_y — упругая деформация ($\varepsilon_y = f_y/E$).

(2) Сталь, соответствующая одной из марок сталей, приведенных в таблице 3.1, должна удовлетворять этим требованиям.

3.2.3 Хрупкое разрушение

(1) Материал должен иметь достаточную ударную вязкость, чтобы исключить хрупкое разрушение растянутых элементов при самой низкой температуре эксплуатации в пределах расчетного срока службы сооружения.

Примечание — Значение самой низкой температуры должно быть приведено в национальном приложении.

(2) Если условия, приведенные в EN 1993-1-10, выполняются при самой низкой температуре, то проверка прочности элемента с учетом хрупкого разрушения не требуется.

(3) В Для элементов зданий, работающих на сжатие, должно быть установлено минимальное значение ударной вязкости стали.

Примечание В — В национальном приложении может быть приведена информация по выбору значения ударной вязкости для элементов, работающих на сжатие. Рекомендуется использовать таблицу 2.1 EN 1993-1-10 для $\sigma_{Ed} = 0,25f_y(t)$.

(4) При выборе сталей для элементов с цинковым покрытием см. EN 1461.

3.2.4 Свойства стали в направлении толщины проката

(1) Если согласно EN 1993-1-10 необходимо использовать сталь с улучшенными свойствами в направлении толщины проката, то следует использовать сталь, соответствующую требуемому классу качества по EN 10164.

Примечание 1 — Указания по выбору свойств в направлении толщины проката приводятся в EN 1993-1-10.

Примечание 2В — Особое внимание следует уделять стыкам балки и колонны и листам фланцевых соединений, работающих на растяжение в направлении толщины.

Примечание 3В — В национальном приложении может быть приведено распределение заданных значений Z_{Ed} согласно 3.2(2) EN 1993-1-10 и требуемых значений Z_{Ed} , соответствующих классу качества по EN 10164. Для зданий и сооружений рекомендуется распределение, приведенное в таблице 3.2.

Таблица 3.2 — Выбор класса качества согласно EN 10164

Заданное значение Z_{Ed} по EN 1993-1-10	Требуемое значение Z_{Rd} , выраженное через расчетные Z-величины по EN 10164
$Z_{Ed} \leq 10$	—
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z 15
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z 25
$Z_{Ed} > 30$	Z 35

3.2.5 Допуски

(1) Допуски по массе и размерам прокатных профилей, профилей замкнутого сечения и листового проката должны соответствовать стандартам на продукцию, ETAG или ETA, если не установлены более жесткие допуски.

(2) Допуски для сварных элементов приведены в EN 1090.

(3) При выполнении расчета конструкций следует использовать номинальные значения размеров.

3.2.6 Расчетные значения физических характеристик материалов

(1) Для конструкционных сталей, приведенных в этой части Еврокода, в расчетах следует принимать следующие значения физических характеристик материалов:

— модуль упругости $E = 210\,000 \text{ Н/мм}^2$;

— модуль сдвига $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \approx 81\,000 \text{ Н/мм}^2$;

— коэффициент Пуассона в упругой стадии $\nu = 0,3$;

— коэффициент линейного термического расширения $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ (при $T < 100 \text{ }^\circ\text{C}$).

Примечание — При определении усилий, напряжений, деформаций от температурных перепадов в сталежелезобетонных конструкциях по EN 1994, коэффициент линейного термического расширения принимается равным $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

3.3 Соединения

3.3.1 Соединительные детали

(1) Требования к соединительным деталям приведены в EN 1993-1-8.

3.3.2 Расходные материалы для сварных соединений

(1) Требования к расходным материалам сварных соединений приведены в EN 1993-1-8.

3.4 Другие изделия заводского изготовления для зданий

(1) Все фабрикаты и полуфабрикаты, используемые при проектировании конструкций зданий и сооружений, должны отвечать требованиям соответствующего стандарта на продукцию или ETAG, или ETA.

4 Долговечность

(1) Основные требования к сроку службы изложены в EN 1990.

(2) Способы защитной обработки, применяемые вне строительной площадки и на строительной площадке, должны соответствовать EN 1090.

Примечание — В EN 1090 приведены факторы, возникающие при изготовлении, которые необходимо учитывать при проектировании.

(3) Элементы, подверженные воздействию коррозии, механическому износу или усталостному разрушению, должны проектироваться таким образом, чтобы была обеспечена возможность осмотра, ремонта и реконструкции, а также необходимый доступ для текущего осмотра и технического обслуживания при эксплуатации.

(4) В Расчет на выносливость необходимо выполнять для следующих элементов стальных конструкций зданий:

- а) опорных элементов подъемных приспособлений или при колесных нагрузках;
- б) элементов, подверженных повторяющимся циклам напряжений от вибрации оборудования;
- в) элементов, подверженных колебаниям от ветровой нагрузки;
- г) элементов, подверженных колебаниям от веса людей.

(5) Для элементов, которые не могут быть обследованы, следует предусматривать соответствующий припуск на коррозионный износ.

(6) В Защиту от коррозии не требуется выполнять для внутренних конструкций зданий и сооружений, если относительная влажность внутри помещения не превышает 80 %.

5 Расчет конструкций

5.1 Моделирование конструкций для расчета

5.1.1 Моделирование конструкций и основные допущения

(1) Анализ должен базироваться на расчетных моделях строительных конструкций, которые соответствуют рассматриваемому предельному состоянию.

(2) Расчетная модель и основные допущения при расчетах должны отражать работу конструкции в соответствующем предельном состоянии с соответствующей точностью и отражать предполагаемый тип поперечных сечений, элементов, соединений и опор.

(3) Метод, используемый при расчете, должен быть совместим с расчетными предпосылками.

(4) В Моделирование конструкций и основные допущения для элементов зданий и сооружений см. также EN 1993-1-5 и EN 1993-1-11.

5.1.2 Моделирование узлов

(1) Влиянием деформаций узлов на распределение внутренних сил и моментов в конструкции и на суммарные деформации конструкции в общем случае можно пренебречь, но если такое влияние существенно (как в случае полужестких соединений), то оно должно быть принято во внимание, см. EN 1993-1-8.

(2) Чтобы установить, должно ли учитываться влияние деформаций узлов при расчете, различают следующие три типа узлов, см. EN 1993-1-8, 5.1.1:

— простой, в котором можно допустить, что узел не передает изгибающие моменты;
 — жесткий, в котором можно допустить, что деформация узла не оказывает влияния на результаты расчета;

— полужесткий, в котором деформации узла должны быть приняты во внимание при расчете.

(3) Требования, предъявляемые к узлам различного типа, приведены в EN 1993-1-8.

5.1.3 Взаимодействие основания и сооружения

(1) Деформационные характеристики опор следует учитывать в том случае, если это необходимо.

Примечание — EN 1997 содержит руководство для расчета взаимодействия грунта и сооружения.

5.2 Статический расчет

5.2.1 Влияние деформированной геометрии конструкции

(1) Внутренние силы и моменты в общем случае могут быть определены с применением:

— расчета по теории первого порядка, использующего начальную геометрию конструкции;

— расчета по теории второго порядка, учитывающего влияние деформаций конструкции.

(2) Эффекты деформированной геометрической схемы (эффекты второго рода) следует рассматривать в случае, если они значительно увеличивают внутренние усилия или значительно изменяют работу конструкции.

(3) Расчет по теории первого порядка может применяться для конструкции, если увеличением соответствующих внутренних сил или моментов или любым другим изменением работы конструкции, вызванными деформациями, можно пренебречь. Это условие считается выполненным, если соблюдается следующий критерий:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \quad \text{— для расчета в упругой стадии,}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \quad (5.1)$$

— для расчета в пластической стадии,

где α_{cr} — коэффициент увеличения расчетной нагрузки, при котором будет достигнуто неустойчивое состояние в упругой стадии при статическом расчете;

F_{Ed} — расчетная нагрузка на конструкцию;

F_{cr} — критическая нагрузка при потере общей устойчивости в упругой стадии, определенная на основе начальных упругих жесткостей.

Примечание — При пластическом расчете в критерии формулы (5.1) приведено более высокое значение предела для α_{cr} , так как на работу конструкции могут оказывать значительное влияние нелинейные свойства материалов в критическом предельном состоянии (например, при формировании пластических шарниров в раме с перераспределением моментов или при возникновении значительных нелинейных деформаций от полужестких соединений). Для определенных типов рам в национальном приложении может быть приведен более низкий предел для α_{cr} при соответствующем обосновании.

(4) В Рамные каркасы зданий с небольшими уклонами кровли и балочно-стоечные типы плоских рам зданий могут быть проверены расчетом по теории первого порядка, если критерий формулы (5.1) выполняется для каждого этажа. В этих конструкциях α_{cr} можно вычислить по следующей приближенной формуле, при условии, что осевое сжатие в балках или стропилах незначительно:

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \cdot \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right), \quad (5.2)$$

где H_{Ed} — расчетное значение горизонтальной реакции в основании этажа от приложения горизонтальных нагрузок и фиктивных горизонтальных нагрузок, см. 5.3.2(7);

V_{Ed} — суммарная расчетная вертикальная нагрузка на конструкцию в основании этажа;

$\delta_{H,Ed}$ — горизонтальное смещение верха этажа относительно основания этажа при действии на раму горизонтальных нагрузок (например, ветра) и фиктивных горизонтальных нагрузок, приложенных на уровне каждого этажа;

h — высота этажа.

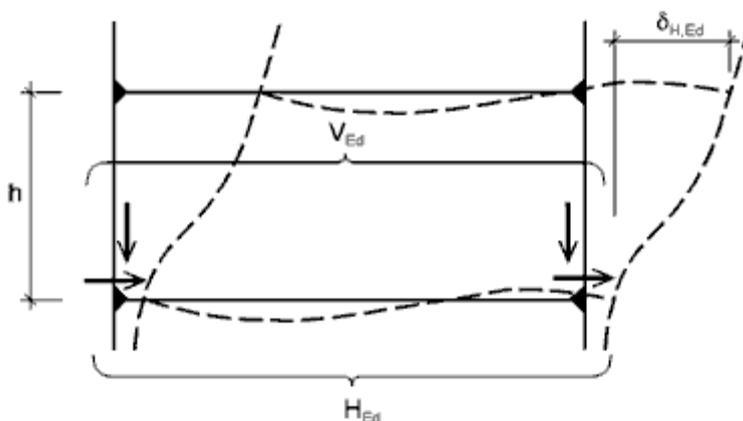


Рисунок 5.1 — Обозначения для 5.2.1(2)

Примечание 1В — При использовании (4)В и отсутствии более подробной информации уклон кровли можно принимать равным нулю, если его значение не более, чем 1:2 (26°).

Примечание 2В — При использовании (4)В и отсутствии более подробной информации осевое сжатие в балках или стропилах можно считать значимым, если

$$\bar{\lambda} \geq 0,3 \sqrt{\frac{Af_y}{N_{Ed}}}, \quad (5.3)$$

где N_{Ed} — расчетное значение сжимающей силы;

$\bar{\lambda}$ — условная гибкость в плоскости рамы, вычисленная для балки или стропил с шарнирами по концам и с конструктивной длиной, измеряемой вдоль балки или стропил.

(5) Влияние сдвигового запаздывания и местной потери устойчивости на жесткости элементов должно учитываться, если это значительно влияет на результаты статического расчета, см. EN 1993-1-5.

Примечание — Для прокатных и сварных сечений подобных размеров влиянием сдвигового запаздывания можно пренебречь.

(6) Влияние на статический расчет сдвига в болтовых отверстиях и подобных деформаций узловых соединений на штифтах и анкерных болтах следует учитывать, если оно существенно.

5.2.2 Устойчивость рам

(1) Если согласно 5.2.1 должно быть принято во внимание влияние деформации конструкции, то учет этого влияния и проверка устойчивости конструкции выполняется по указаниям (2) – (6).

(2) Проверка устойчивости рам или их частей должна быть произведена с учетом несовершенств и эффектов второго рода.

(3) Эффекты второго рода и несовершенства могут учитываться в соответствии с типом рамы одним из следующих способов:

а) с помощью статического расчета;

б) частично с помощью статического расчета и частично с помощью проверки устойчивости отдельных элементов согласно 6.3;

в) для основных видов напряженно-деформированного состояния — проверкой устойчивости отдельных элементов, согласно 6.3, с использованием расчетных длин, соответствующих форме общей потери устойчивости конструкции.

(4) Эффекты второго рода могут быть вычислены с использованием соответствующего расчета конструкции (включая пошаговые или другие итерационные процедуры). Для рам, в которых первая форма потери устойчивости является преобладающей, упругий расчет первого порядка следует выполнять на повышенные значения действующих усилий (например, изгибающих моментов), определяемые с использованием соответствующих коэффициентов.

(5)В При упругом статическом расчете одноэтажных рам эффект поперечного отклонения второго рода от действия вертикальных нагрузок может быть учтен увеличением горизонтальных нагрузок H_{Ed} (например, ветра) и эквивалентных нагрузок $V_{Ed\phi}$, обусловленных несовершенствами

(см. 5.3.2(7)) и другими возможными эффектами отклонений от вертикали согласно теории первого порядка, используя коэффициент

$$\frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} \quad (5.4)$$

при условии, что $\alpha_{cr} \geq 3,0$.

Коэффициент α_{cr} может быть вычислен по формуле (5.2) при условии, что уклон кровли незначителен и осевое сжатие в балках или стропильных конструкциях также незначительно, как указано в 5.2.1(4)В.

Примечание В — При $\alpha_{cr} < 3,0$ применяется более точный расчет по теории второго порядка.

(6)В Для многоэтажных рам эффекты поперечного отклонения второго рода могут быть вычислены посредством метода, приведенного в (5)В при условии, что для всех этажей одинаково:

- распределение вертикальных нагрузок;
- распределение горизонтальных нагрузок;
- распределение жесткостей в раме пропорционально приложенным к этажу поперечным силам.

Примечание В — Ограничения для метода см. также в 5.2.1(4)В.

(7) В соответствии с (3) устойчивость отдельных элементов должна быть проверена следующим образом:

а) если эффекты второго рода в отдельных элементах и соответствующие несовершенства элемента (см. 5.3.4) полностью учитываются при статическом расчете конструкции, то проверка устойчивости отдельных элементов согласно 6.3 не требуется;

б) если эффекты второго рода в отдельных элементах или некоторые несовершенства отдельных элементов (например, отклонения элемента при потере устойчивости при продольном изгибе и/или потере устойчивости плоской формы изгиба, см. 5.3.4) не учитываются полностью в статическом расчете, то должна быть проверена устойчивость отдельных элементов согласно соответствующим критериям по 6.3 на воздействия, не включенные в статический расчет. Эта проверка должна учитывать концевые моменты и силы, полученные из статического расчета конструкции, включая общие эффекты второго рода и общие несовершенства (см. 5.3.2), если они имеют место и могут располагаться в пределах расчетной длины.

(8) Если устойчивость рамы оценена проверкой по методу эквивалентной колонны согласно 6.3, то значения расчетных длин должны быть основаны на форме общей потери устойчивости рамы с учетом жесткостей элементов и соединений, наличия пластических шарниров и распределения сжимающих усилий при действии расчетных нагрузок. В этом случае внутренние усилия, используемые при определении несущей способности, вычисляются согласно теории первого порядка без учета несовершенств.

Примечание — В национальном приложении может быть приведена информация об области применения.

5.3 Несовершенства

5.3.1 Основные положения

(1) Для учета влияния несовершенств, включая остаточные напряжения и геометрические несовершенства, такие как отклонение от вертикали, прямолинейности, плоскопараллельности, отсутствие пригонки и любой незначительный эксцентриситет в соединениях ненагруженной конструкции, в расчет должны быть включены соответствующие допущения.

(2) Эквивалентные геометрические несовершенства, см. 5.3.2 и 5.3.3, должны приниматься со значениями, отражающими возможные эффекты всех типов несовершенств, за исключением тех эффектов, которые включены в формулы проверки прочности элемента, см. 5.3.4.

(3) Должны быть приняты во внимание следующие несовершенства:

- а) общие несовершенства рам и систем связей;
- б) местные несовершенства отдельных элементов.

5.3.2 Несовершенства при статическом расчете рам

(1) Приемлемую форму общих и местных несовершенств можно получить из формы потери устойчивости конструкции в упругой стадии.

(2) Потерю устойчивости в плоскости и из плоскости, включая потерю устойчивости по крутильной форме с симметричными и асимметричными формами потери устойчивости, следует рассматривать в наиболее неблагоприятных направлении и форме.

(3) При расчете рам, чувствительных к потере устойчивости, сопровождаемой поперечным отклонением, эффект несовершенств учитывается посредством расчета рамы с эквивалентным несовершенством в виде начального поперечного отклонения и местных изгибных отклонений элементов. Несовершенства могут быть определены как:

а) общие начальные несовершенства в виде отклонений от вертикали (поперечных отклонений), см. рисунок 5.2:

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m, \tag{5.5}$$

где ϕ_0 — основное значение: $\phi_0 = 1/200$;

α_h — понижающий коэффициент, учитывающий высоту колонн h :

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}}, \text{ но } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0,$$

здесь h — высота конструкции, м;

α_m — понижающий коэффициент, учитывающий количество колонн в ряду:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)},$$

m — количество колонн в ряду, включая только колонны, воспринимающие вертикальную силу N_{Ed} , равную не менее 50 % среднего значения, приходящегося на каждую колонну ряда;

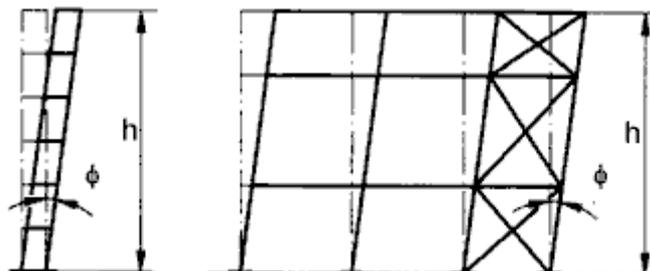


Рисунок 5.2 — Эквивалентные несовершенства при поперечном отклонении

б) относительные начальные местные изгибные несовершенства элементов при плоской форме потери устойчивости:

$$e_0/L, \tag{5.6}$$

где L — длина элемента.

Примечание — Значения e_0/L могут быть установлены в национальном приложении. Рекомендуемые значения приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 — Расчетные значения начального местного изгибного несовершенства e_0/L

Кривая потери устойчивости по таблице 6.1	e_0/L	
	при упругом расчете	при пластическом расчете
a_0	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200

c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

(4) Для рамных каркасов зданий несовершенствами в виде поперечных отклонений можно пренебречь, если

$$H_{Ed} \geq 0,15V_{Ed}. \quad (5.7)$$

(5) Для определения горизонтальных усилий, приложенных на уровне диска перекрытия, должна быть принята форма отклонений, показанная на рисунке 5.3, где ϕ — поперечное отклонение, полученное из формулы (5.5) при высоте одного этажа h , см. (3)а).

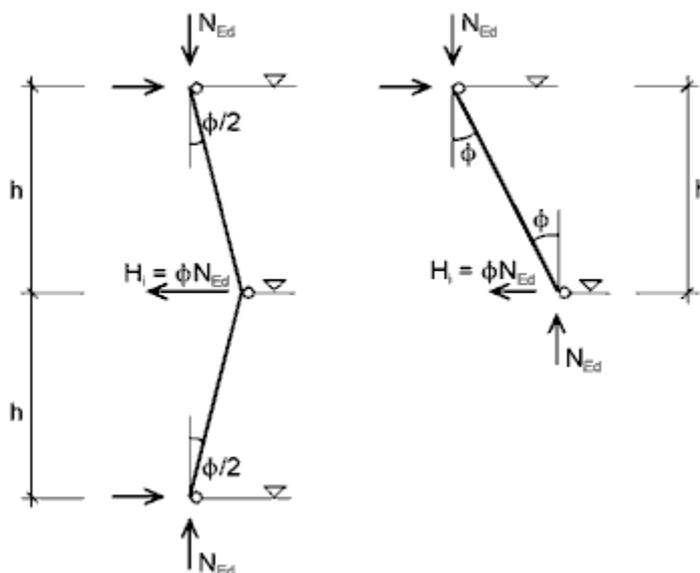


Рисунок 5.3 — Поперечное отклонение ϕ для определения горизонтальных сил, приложенных на уровне диска перекрытия

(6) При выполнении статического расчета для определения концевых сил и моментов, используемых при проверках элемента согласно 6.3, местными изгибными отклонениями можно пренебречь. Однако для рам, чувствительных к эффектам второго рода, местные изгибные отклонения (см. 5.2.1(3)) должны быть введены в расчет рамной конструкции для каждого сжатого элемента, при соблюдении следующих условий:

— существует хотя бы одно соединение, воспринимающее момент в одном конце элемента;

$$— \bar{\lambda} > 0,5 \sqrt{\frac{Af_y}{N_{Ed}}}, \quad (5.8)$$

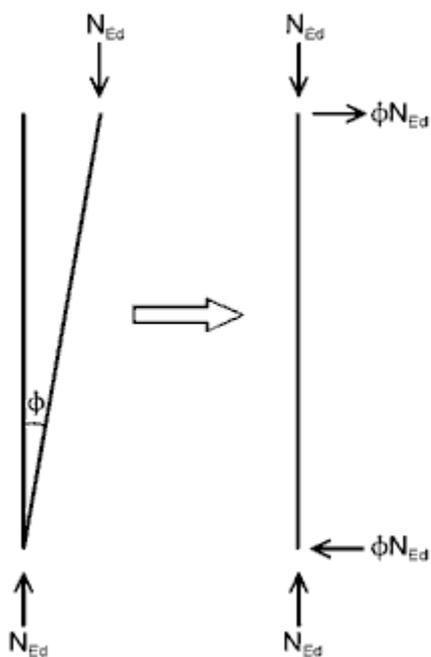
где N_{Ed} — расчетное значение сжимающей силы;

$\bar{\lambda}$ — условная гибкость в плоскости рамы, вычисленная для элемента с шарнирами по концам.

Примечание — Местные изгибные отклонения принимаются во внимание при проверках элемента, см. 5.2.2(3) и 5.3.4.

(7) Начальные поперечные отклонения и начальные местные изгибные отклонения могут быть заменены системами эквивалентных горизонтальных сил, приложенных к каждой из колонн, см. рисунки 5.3 и 5.4.

Начальные поперечные отклонения



Начальные местные изгибные отклонения

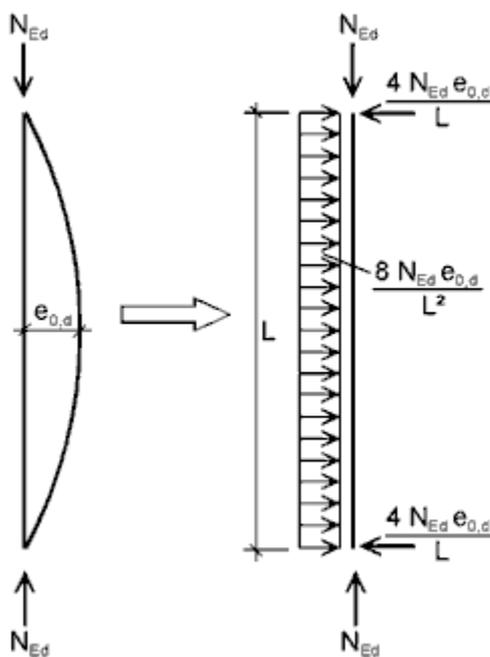


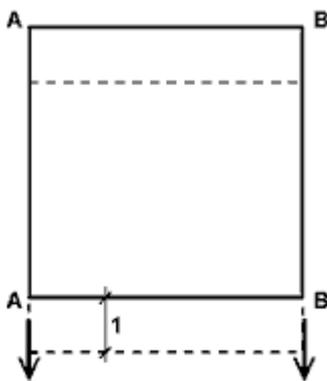
Рисунок 5.4 — Замена начальных отклонений эквивалентными горизонтальными силами

(8) Начальные поперечные отклонения следует рассматривать в любом горизонтальном направлении, но одновременно учитывается только одно из направлений.

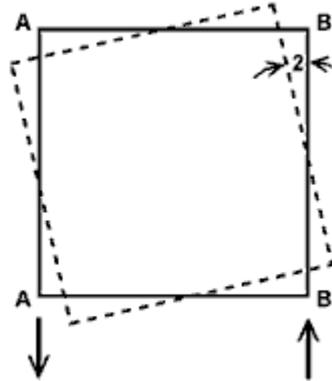
(9) В В многоэтажных балочно-стоечных каркасах здания эквивалентные силы следует прикладывать на уровне каждого этажа и в уровне покрытия.

(10) Также подлежат рассмотрению возможные эффекты закручивания конструкции, вызванные асимметричными поперечными отклонениями двух противоположных граней, рисунок 5.5.

а) Грани А – А и В – В смещаются в одном направлении



б) Грани А – А и В – В смещаются в противоположных направлениях



1 — поступательное смещение; 2 — вращательное смещение

Рисунок 5.5 — Поступательные и вращательные эффекты (вид в плане)

(11) Как альтернатива указаниям (3) и (6) для определения интегрального (общего и местного) отклонения может быть использовано отклонение элемента η_{cr} при потере устойчивости конструкции в упругой стадии. Амплитуда этого отклонения может быть определена по формуле:

$$\eta_{init} = e_0 \cdot \frac{N_{cr}}{EI\eta_{cr,max}} \eta_{cr} = \frac{e_0}{\lambda^2} \cdot \frac{N_{Rk}}{EI\eta_{cr,max}} \eta_{cr}, \tag{5.9}$$

где $EI\eta_{cr,max}''$ — изгибающий момент от η_{cr} в критическом поперечном сечении;
 η_{cr} — отклонение элемента при потере устойчивости в упругой стадии;

$$e_0 = \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{M_{Rk}}{N_{Rk}} \cdot \frac{1 - \chi \bar{\lambda}^2}{1 - \chi \bar{\lambda}^2} \quad \text{— при } \bar{\lambda} > 0,2; \quad (5.10)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}} \quad \text{— условная гибкость конструкции,} \quad (5.11)$$

здесь α — коэффициент несовершенства для соответствующей кривой потери устойчивости, см. таблицы 6.1 и 6.2;

χ — понижающий коэффициент для соответствующей кривой потери устойчивости, зависящий от соответствующего поперечного сечения, см. 6.3.1;

$\alpha_{ult,k}$ — коэффициент минимального увеличения осевой силы N_{Ed} для достижения нормативного значения несущей способности N_{Rk} наиболее напряженного поперечного сечения без учета потери устойчивости;

α_{cr} — коэффициент минимального увеличения осевой силы N_{Ed} для достижения потери устойчивости в упругой стадии;

M_{Rk} — нормативное значение изгибающего момента, воспринимаемого критическим поперечным сечением, например $M_{ei,Rk}$ или $M_{pl,Rk}$ соответственно;

N_{Rk} — нормативное значение осевой силы, воспринимаемой критическим поперечным сечением, то есть $N_{pl,Rk}$.

Примечание 1 — Для вычисления коэффициентов $\alpha_{ult,k}$ и α_{cr} элементы конструкции можно рассматривать как нагруженные осевыми силами N_{Ed} , полученными из упругого расчета первого порядка конструкции при расчетных нагрузках.

Примечание 2 — В национальном приложении может приводиться информация об области применения (11).

5.3.3 Несовершенства при расчете систем связей

(1) При расчете систем связей, обеспечивающих устойчивость балок из плоскости или сжатых элементов, влияние несовершенств учитывается посредством эквивалентного геометрического отклонения раскрепленных элементов в форме начального изгибного отклонения:

$$e_0 = \alpha_m L/500, \quad (5.12)$$

где L — длина элемента связей;

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)},$$

здесь m — количество раскрепленных элементов.

(2) Начальные изгибные отклонения элементов, раскрепленных системой связей, могут быть заменены эквивалентной стабилизирующей силой N_{Ed} , как показано на рисунке 5.6. В этом случае эквивалентная распределенная погонная нагрузка может быть вычислена по формуле

$$q_d = \sum N_{Ed} \cdot 8 \cdot \frac{e_0 + \delta_q}{L^2}, \quad (5.13)$$

где δ_q — перемещение в плоскости системы связей от совместного действия q и внешних нагрузок, полученное при расчете по теории первого порядка.

Примечание — δ_q можно принимать равным нулю, если используется теория второго порядка.

(3) В случае раскрепления сжатой полки балки постоянной высоты системой связей, силу N_{Ed} (см. рисунок 5.6) можно определить по формуле

$$N_{Ed} = M_{Ed}/h, \quad (5.14)$$

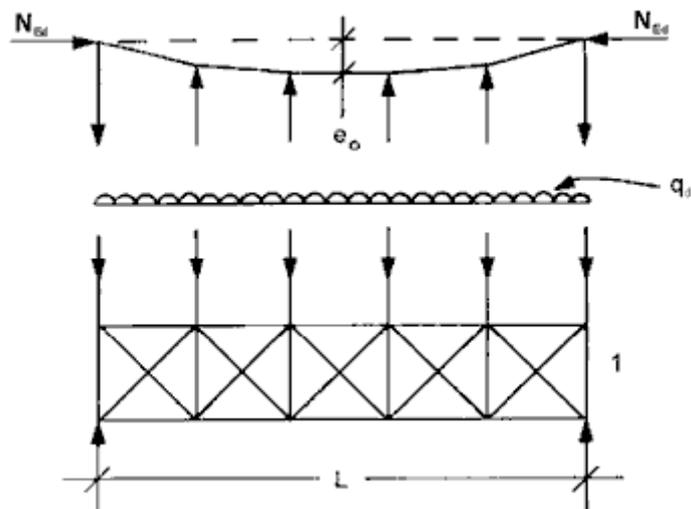
где M_{Ed} — максимальное значение изгибающего момента в балке;

h — высота балки.

Примечание — Если балка подвержена сжатию внешней силой, то осевая сила N_{Ed} должна включать также часть внешней силы.

(4) Элементы связей и их крепление к балкам или сжатым элементам должны быть проверены на действие локальной силы, равной $\alpha_m N_{Ed}/100$, передаваемой каждой балкой или сжатым элементом в точках их сопряжения с элементами связей, рисунок 5.7.

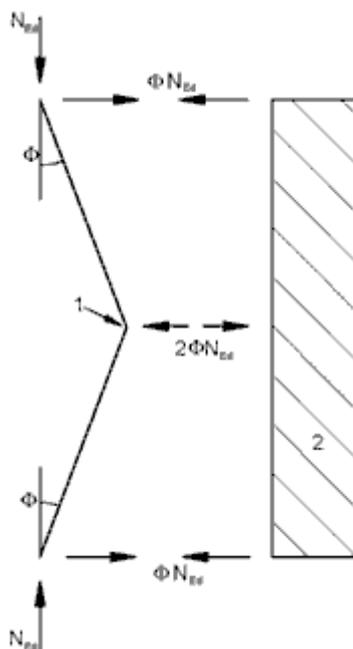
(5) При проверке на локальное усилие согласно (4) должны быть также учтены внешние нагрузки, действующие на системы связей, но силами, являющимися результатом отклонения, данного в (1), можно пренебречь.



e_0 — отклонение; q_d — эквивалентная распределенная погонная нагрузка;
1 — система связей

Сила N_{Ed} принята постоянной вдоль пролета L системы связей.
При переменной силе вдоль пролета решение достаточно надежно

Рисунок 5.6 — Эквивалентная стабилизирующая сила



$$\Phi = \alpha_m \Phi_0; \Phi_0 = 1/200$$

$$2\Phi N_{Ed} = \alpha_m N_{Ed}/100$$

1 — сопряжение; 2 — система связей

Рисунок 5.7 — Усилия в связях при раскреплении сжатых элементов

5.3.4 Несовершенства элемента

(1) Местные изгибные отклонения элементов учтены в формулах определения несущей способности элементов по устойчивости, см. 6.3.

(2) При расчете устойчивости элементов посредством расчета по теории второго порядка согласно 5.2.2(7)а), следует учитывать отклонения сжатых элементов e_0 согласно 5.3.2(3)б), 5.3.2(5)В или 5.3.2(6).

(3) В расчете по теории второго порядка, учитывающего потерю устойчивости плоской формы изгиба элемента, отклонения можно принимать равными $ke_{0,d}$, где $e_{0,d}$ — эквивалентное начальное изгибное отклонение в плоскости наименьшей жесткости рассматриваемого профиля. В общем случае дополнительное закручивающее отклонение учитывать не следует.

Примечание — Значение k принимается в соответствии с национальным приложением. Рекомендуемое значение $k = 0,5$.

5.4 Методы расчета с учетом нелинейных свойств материалов

5.4.1 Общие положения

(1) Внутренние силы и моменты можно определить посредством:

- а) упругого статического расчета;
- б) пластического статического расчета.

Примечание — Расчет конечно-элементной модели (КЭМ) см. в EN 1993-1-5.

(2) Упругий статический расчет может применяться во всех случаях.

(3) Пластический статический расчет может применяться тогда, когда имеет место поворот конструкции в местах образования пластических шарниров в элементах или в соединениях. При образовании пластического шарнира в элементе, его поперечные сечения должны обладать двойной или одиночной плоскостью симметрии, совпадающей с плоскостью вращения пластического шарнира,

и должны удовлетворять требованиям, указанным в 5.6. При образовании пластического шарнира в узле сопряжения, он должен иметь либо достаточную прочность для обеспечения работы пластического шарнира в элементе, либо сохранять несущую способность в пластической стадии при значительном повороте, см. EN 1993-1-8.

(4) В качестве упрощения метода ограниченного пластического перераспределения моментов в неразрезных балках, в котором некоторые пиковые моменты при использовании упругого расчета превышают значение несущей способности на изгиб в пластической стадии максимум на 15 %, части моментов, превысившие пиковые, могут быть перераспределены в любом элементе при следующих условиях:

- а) внутренние силы и моменты в раме остаются в равновесии с приложенными нагрузками;
- б) все элементы, в которых уменьшены моменты, имеют поперечные сечения классов 1 или 2 (см. 5.5);
- в) обеспечена устойчивость плоской формы изгиба элемента.

5.4.2 Упругий статический расчет

(1) Упругий статический расчет базируется на предпосылке, что зависимость «напряжения-деформации» носит линейный характер независимо от уровня напряжений.

Примечание — Выбор расчетной модели с полужесткими соединениями см. 5.1.2(2) – (3).

(2) Внутренние силы и моменты могут быть определены при упругом статическом расчете, даже если несущая способность поперечного сечения основана на его несущей способности в пластической стадии, см. 6.2.

(3) Упругий статический расчет может также использоваться для поперечных сечений, несущая способность которых ограничена потерей местной устойчивости, см. 6.2.

5.4.3 Пластический статический расчет

(1) Пластический статический расчет учитывает физическую нелинейность при определении усилий в конструктивной системе. Ее поведение следует моделировать одним из следующих способов:

— упруго-пластический расчет системы с элементами, в сечении которых имеют место пластические деформации, и/или при наличии соединений, подобных пластическим шарнирам;

— нелинейный пластический расчет, учитывающий ограниченное развитие пластических деформаций в элементах;

— жестко-пластический расчет, пренебрегающий упругими деформациями между пластическими шарнирами.

(2) Пластический статический расчет следует использовать там, где элементы имеют достаточную вращательную способность, чтобы обеспечить перераспределение изгибающих моментов, см. 5.5 и 5.6.

(3) Пластический статический расчет следует использовать только там, где может быть гарантирована устойчивость элементов в пластических шарнирах, см. 6.3.5.

(4) Билинейная зависимость «напряжения-деформации» показанная на рисунке 5.8, может применяться для марок конструкционной стали, определенных в разделе 3. В качестве альтернативы, согласно EN 1993-1-5, может быть принята более точная зависимость.

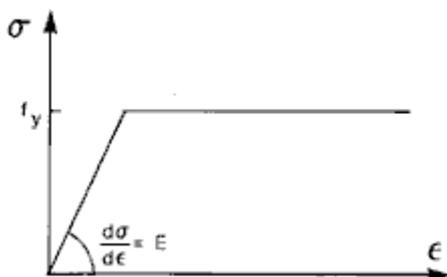


Рисунок 5.8 — Билинейная зависимость «напряжения-деформации»

(5) Жестко-пластический расчет может быть применен, если не рассматриваются никакие эффекты деформированной геометрии (например, эффекты второго рода). В этом случае узлы сопряжений классифицируются только по прочности, см. EN 1993-1-8.

(6) Эффекты деформированной геометрии конструкции и общую устойчивость каркаса следует проверять согласно принципам, изложенным в 5.2.

Примечание — Максимальное значение несущей способности рамы со значительно деформированной геометрией может быть достигнуто прежде, чем будут сформированы все пластические шарниры и кинематически изменяемая система (механизм) с одной лишней степенью свободы.

5.5 Классификация поперечных сечений

5.5.1 Основные положения

(1) Роль классификации поперечных сечений состоит в определении границ, при достижении которых несущая и вращательная способности поперечных сечений ограничиваются потерей местной устойчивости.

5.5.2 Классификация

(1) Различают четыре класса поперечных сечений:

— поперечные сечения класса 1 — те, в которых может образоваться пластический шарнир с вращательной способностью, требуемой для пластического расчета и достигаемой без снижения несущей способности;

— поперечные сечения класса 2 — те, в которых могут развиваться пластические деформации, но в которых ограничена вращательная способность вследствие потери местной устойчивости;

— поперечные сечения класса 3 — те, в которых напряжение в крайних сжатых волокнах стального элемента при упругом распределении напряжений может достигнуть предела текучести, но потеря местной устойчивости препятствует развитию пластических деформаций;

— поперечные сечения класса 4 — те, в которых потеря местной устойчивости наступает до достижения предела текучести в одной или более зонах поперечного сечения.

(2) В поперечных сечениях класса 4 для определения необходимых допусков при снижении несущей способности от действия местной потери устойчивости может быть использована эффективная ширина, см. EN 1993-1-5, 5.2.2.

(3) Классификация поперечных сечений зависит от отношения ширины к толщине частей сечения, расположенных в его сжатой зоне.

(4) Сжатые зоны включают все части поперечного сечения, которые полностью или частично сжаты под действием рассматриваемого сочетания нагрузок.

(5) Различные сжатые части в поперечном сечении (такие как стенка или полка) могут относиться к различным классам.

(6) Поперечное сечение классифицируется по наивысшему (наименее благоприятному) классу его сжатых частей. Исключения приведены в 6.2.1(10) и 6.2.2.4(1).

(7) Альтернативно классификация поперечного сечения может быть установлена с учетом классификации как полки, так и стенки.

(8) Предельные отношения c/t для сечений классов 1, 2 и 3 следует принимать по таблице 5.2. Часть сечения, которая не соответствует предельным отношениям для сечения класса 3, должна быть отнесена к сечению класса 4.

(9) За исключением случая, приведенного в (10), сечения класса 4 могут быть отнесены к классу 3, если c/t меньше значения, вычисленного для сечения класса 3 по таблице 5.2 при $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{\sigma_{\text{com,Ed}} \gamma_{M0}}}$,

где $\sigma_{\text{com,Ed}}$ — максимальное расчетное сжимающее напряжение в части, принимаемой из расчета по теории первого порядка или, при необходимости, из расчета по теории второго порядка.

(10) Однако, если при определении несущей способности элемента по устойчивости используется 6.3, предельные отношения c/t для класса 3 во всех случаях следует принимать по таблице 5.2.

(11) Поперечные сечения со стенкой класса 3 и полками класса 1 или 2 могут быть классифицированы как поперечные сечения класса 2 с эффективной стенкой в соответствии с 6.2.2.4.

(12) Если стенка воспринимает только поперечные силы и, следовательно, не повышает несущую способность поперечного сечения по моменту и продольной силе, то поперечное сечение может быть рассчитано как сечение класса 2, 3 или 4 в зависимости только от класса полки.

Примечание — Если полка вызывает потерю устойчивости стенки, то см. EN 1993-1-5.

5.6 Требования к поперечным сечениям при пластическом статическом расчете

(1) В местах образования пластического шарнира поперечное сечение элемента, содержащего пластический шарнир, должно иметь вращательную способность не меньше, чем требуется в месте образования пластического шарнира.

(2) В однородном элементе вращательную способность пластического шарнира можно считать достаточной, если удовлетворены оба следующих требования:

а) в месте образования пластического шарнира элемент имеет поперечные сечения класса 1;

б) если в месте образования пластического шарнира к стенке приложена сила, значение которой превышает 10 % от значения несущей способности поперечного сечения на сдвиг, см. 6.2.6, то участок стенки на расстоянии $h/2$ (где h — высота поперечного сечения в этом месте) от места расположения пластического шарнира следует укреплять ребрами жесткости.

(3) В местах изменения поперечного сечения по длине элемента должны выполняться следующие дополнительные условия:

а) толщина стенки сечения, примыкающего к месту расположения пластического шарнира, не должна быть уменьшена, по крайней мере, на расстоянии, равном $2d$, в обе стороны от места расположения пластического шарнира (где d — высота сечения стенки в месте расположения пластического шарнира);

б) сжатую полку сечения, примыкающего к месту расположения пластического шарнира, следует относить к классу 1 на расстоянии от места расположения пластического шарнира в обе стороны не меньшем большего из следующих значений:

— $2d$, как оговорено в (3)а);

— расстояние до ближайшей точки, в которой момент в элементе снизился до 0,8 от несущей способности на изгиб в пластической стадии;

в) в любой другой точке элемента сжатую полку следует относить к классу 1 или 2, а стенку — к классу 1, 2 или 3.

(4) Размещение отверстий в растянутых зонах на расстоянии, установленном в (3)б), в обе стороны от пластического шарнира, должно удовлетворять 6.2.5(4).

(5) При пластическом расчете рамы учет перераспределения моментов обоснован, если для всех элементов, в которых есть или могут образоваться пластические шарниры при расчетных нагрузках, выполняются требования (2) – (4).

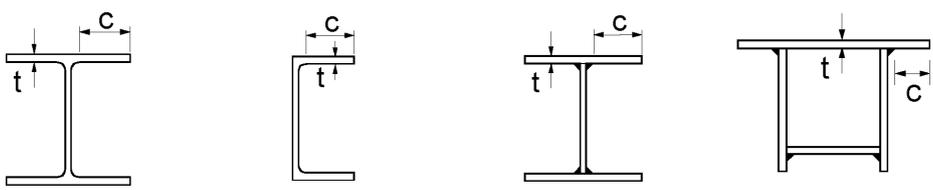
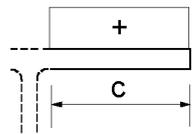
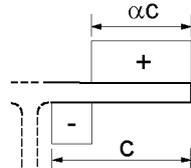
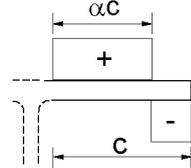
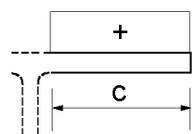
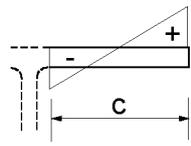
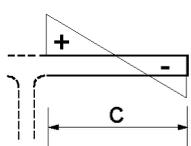
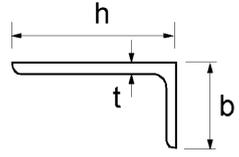
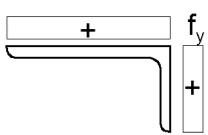
(6) При применении методов пластического статического расчета, которые рассматривают действительное напряженное и деформированное состояние по длине элемента с учетом потери местной устойчивости, потери общей устойчивости элемента и потери устойчивости системы в целом, требования (2) – (5) выполнять не нужно.

Таблица 5.2 — Максимальные отношения ширины к толщине для сжатых частей сечения

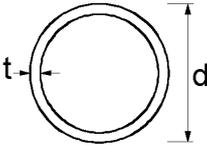
Сжатые внутренние части						
				Ось изгиба		
				Ось изгиба		
Класс	Часть, подвергнутая изгибу	Часть, подвергнутая сжатию	Часть, подвергнутая изгибу и сжатию			
Распределение напряжений в частях (сжатие положительно)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	При $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ При $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	При $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ При $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Распределение напряжений в частях (сжатие положительно)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	При $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ При $\psi \leq -1^*$: $c/t \leq 62\varepsilon \cdot (1 - \psi) \sqrt{(-\psi)}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

* $\psi \leq -1$ для тех случаев, когда или сжимающее напряжение $\sigma \leq f_y$, или деформация растяжения $\varepsilon_y > f_y/E$.

Продолжение таблицы 5.2

Свесы полок						
						
Прокатные профили			Сварные профили			
Класс	Часть, подвергнутая сжатию	Часть, подвергнутая изгибу и сжатию				
		Сжатие на конце		Растяжение на конце		
Распределение напряжений в частях (сжатие положительно)						
1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Распределение напряжений в частях (сжатие положительно)						
3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ k_σ см. EN 1993-1-5				
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
Угловые профили						
Дополнительно см. «Свесы полок» (см. выше)				Не применяется при непрерывном контакте уголков с другими деталями		
Класс	Сечение, подвергнутое сжатию					
Распределение напряжений во всем сечении (сжатие положительно)						
3	$h/t \leq 15\varepsilon; \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$					

Окончание таблицы 5.2

Трубчатое сечение						
						
Класс	Сечение, подвергнутое изгибу и/или сжатию					
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$ Для $d/t > 90\varepsilon^2$ см. EN 1993-1-6					
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

6 Предельные состояния по несущей способности

6.1 Общие положения

(1) В данном разделе, в соответствии с 2.4.3, к различным нормативным значениям несущей способности применяют следующие частные коэффициенты безопасности γ_M при определении:

— несущей способности поперечных сечений по прочности независимо от класса — γ_{M0} ;

— несущей способности элемента по устойчивости — γ_{M1} ;

— несущей способности поперечных сечений по прочности, определяемая с использованием временного сопротивления стали — γ_{M2} ;

— несущей способности соединений — см. EN 1993-1-8.

Примечание 1 — Другие рекомендуемые численные значения — см. части 2 – 6 EN 1993. Для конструкций, не рассмотренных в частях 2 – 6 EN 1993, частные коэффициенты безопасности γ_{Mi} могут быть определены в национальном приложении; частные коэффициенты γ_{Mi} рекомендуется принимать по EN 1993-2.

Примечание 2B — Частные коэффициенты безопасности γ_{Mi} для зданий могут быть определены в национальном приложении. Для зданий рекомендуются следующие численные значения:

$$\gamma_{M0} = 1,00;$$

$$\gamma_{M1} = 1,00;$$

$$\gamma_{M2} = 1,25.$$

6.2 Несущая способность поперечных сечений по прочности

6.2.1 Общие положения

(1) Расчетное значение усилий в каждом поперечном сечении не должно превышать соответствующего расчетного значения несущей способности, и если несколько нагрузок действуют одновременно, суммарное усилие от их действия не должно превышать несущей способности для этого сочетания.

(2) Эффекты сдвигового запаздывания и местной потери устойчивости следует учитывать при назначении эффективной ширины в соответствии с EN 1993-1-5. Влияние потери устойчивости при сдвиге также должно учитываться в соответствии с EN 1993-1-5.

(3) Расчетные значения несущей способности зависят от классификации поперечных сечений.

(4) Проверка прочности в упругой стадии может производиться для всех классов поперечных сечений при условии использования характеристик эффективных поперечных сечений, установленных для сечений класса 4.

(5) Для проверки прочности в упругой стадии может использоваться следующий критерий, для критической точки поперечного сечения, если не применяются другие формулы взаимодействия, см. 6.2.8 – 6.2.10:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 \leq 1, \quad (6.1)$$

где $\sigma_{x,Ed}$ — расчетное значение нормальных напряжений, параллельных оси элемента, в рассматриваемой точке;

$\sigma_{z,Ed}$ — расчетное значение нормальных напряжений, параллельных оси элемента, в рассматриваемой точке;

τ_{Ed} — расчетное значение касательных напряжений в рассматриваемой точке.

Примечание — Проверка в соответствии с (5) предусматривает запас прочности, так как она исключает ограниченное развитие пластических напряжений, которое допускается при упругом расчете. Следовательно, она может выполняться только в тех случаях, когда невозможно учесть взаимодействие на основе значений несущих способностей N_{Rd} , M_{Rd} и V_{Rd} .

(6) Несущую способность поперечных сечений в пластической стадии следует проверять путем определения распределения напряжений, соблюдая условие равновесия с внутренними силами и моментами и не превышая предел текучести. Это распределение напряжений должно быть адекватно также соответствующим пластическим деформациям.

(7) Прочность поперечных сечений всех классов может быть приближенно оценена суммированием отношений «действующее усилие/несущая способность» для каждого усилия. Для поперечных сечений класса 1, 2 или 3, подвергнутых сочетанию усилий N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ и $M_{z,Ed}$, этот метод может применяться при использовании следующего критерия:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1, \quad (6.2)$$

где N_{Rd} , $M_{y,Rd}$ и $M_{z,Rd}$ — расчетные значения несущей способности, зависящие от класса поперечных сечений и включающие все возможные понижающие факторы, обусловленные действием сдвига, см. 6.2.8.

Примечание — Для поперечных сечений класса 4 см. 6.2.9.3(2).

(8) Если все сжатые части поперечного сечения класса 1 или 2, то можно считать, что поперечное сечение обладает несущей способностью на изгиб с учетом полного развития пластических деформаций.

(9) Если все сжатые части поперечного сечения класса 3, то его несущая способность должна основываться на упругом распределении деформаций в сечении. Сжимающие напряжения в крайних волокнах должны быть ограничены пределом текучести.

Примечание — При проверке по несущей способности по прочности крайние волокна могут считаться расположенными в средней плоскости полка. Расчет на выносливость см. EN 1993-1-9.

(10) Если текучесть появляется сначала в растянутой части поперечного сечения, то при определении несущей способности по прочности поперечных сечений класса 3 может быть учтено частичное развитие пластических деформаций в указанной зоне.

6.2.2 Характеристики сечений

6.2.2.1 Поперечное сечение брутто

(1) Характеристики поперечных сечений брутто следует определять по номинальным размерам. Не следует вычитать площади поперечных сечений отверстий под болты, но необходимо учитывать ослабления большего размера. Не следует учитывать стыковые накладки в сечении.

6.2.2.2 Площадь нетто

(1) Площадь поперечного сечения нетто следует принимать равной площади брутто за вычетом площадей поперечных сечений всех отверстий и других ослаблений.

(2) При определении характеристик сечения элемента нетто вычитаемая площадь поперечного отверстия принимается равной площади его поперечного сечения брутто. Для отверстий с фаской ее следует учитывать аналогично.

(3) При рядовом расположении отверстий общая вычитаемая площадь отверстий должна равняться максимальной сумме площадей сечения отверстий в любом поперечном сечении, перпендикулярном к оси элемента (см. плоскость разрушения 2 на рисунке 6.1).

Примечание — Максимальная сумма предопределяет положение критической линии разрушения.

(4) При шахматном расположении отверстий общая вычитаемая площадь отверстий должна быть не менее:

а) вычитаемой площади отверстий, вычисленной по указаниям (3);

$$\text{б) } t \cdot \left(n d_0 - \sum \frac{s^2}{4p} \right), \quad (6.3)$$

где s — шаг при расположении в шахматном порядке, расстояние между центрами двух смежных отверстий, измеренное по линии, параллельной оси элемента;

p — расстояние между центрами тех же двух отверстий, измеренное по линии, перпендикулярной к оси элемента;

t — толщина;

n — количество отверстий, расположенных на любой диагональной или зигзагообразной линии, проходящей через весь элемент или его часть, рисунок 6.1;

d_0 — диаметр отверстия.

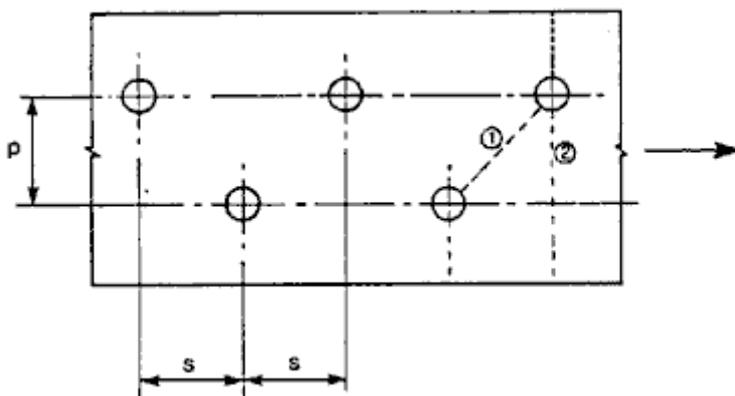


Рисунок 6.1 — Отверстия, расположенные в шахматном порядке, и линии критического разрушения 1 и 2

(5) В уголках или других элементах с отверстиями, расположенными более чем в одной плоскости, расстояние p следует измерять между осями отверстий вдоль элемента (рисунок 6.2).

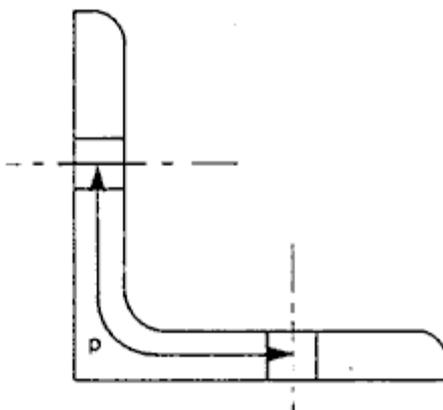


Рисунок 6.2 — Уголки с отверстиями в обеих полках

6.2.2.3 Эффект сдвигового запаздывания

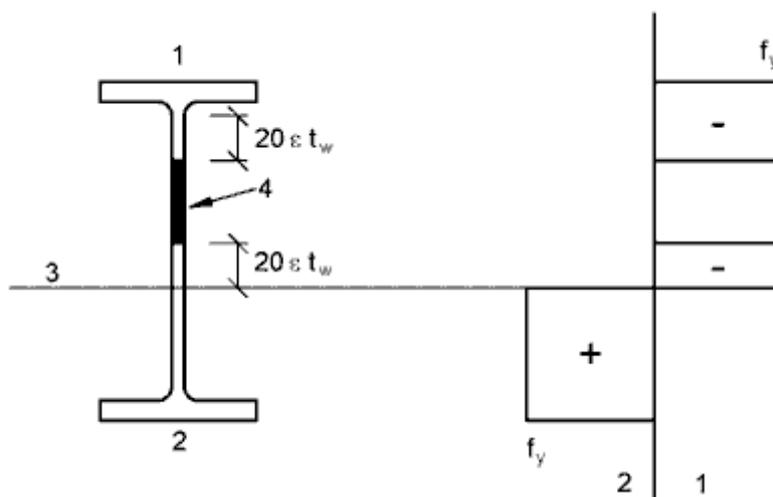
(1) Расчет значений эффективной ширины приведен в EN 1993-1-5.

(2) Для поперечных сечений класса 4 совместное влияние сдвигового запаздывания и местной потери устойчивости следует учитывать согласно указаниям EN 1993-1-5.

Примечание — Холодноформованные тонкостенные элементы — см. EN 1993-1-3.

6.2.2.4 Характеристики эффективных поперечных сечений со стенками класса 3 и полками класса 1 или 2

(1) Если поперечные сечения со стенкой класса 3 и полками класса 1 или 2 относятся к классу 2 с эффективной стенкой, см. 5.5.2(11), то при определении геометрических характеристик эффективного сечения в пластической стадии сжатая часть стенки должна быть заменена частью высотой $20\varepsilon t_w$ и примыкающей к сжатой полке и другой частью высотой $20\varepsilon t_w$, примыкающей к нейтральной оси, в соответствии с рисунком 6.3.



1 — сжатие; 2 — растяжение;
3 — нейтральная ось в пластической стадии; 4 — исключаемая часть стенки

Рисунок 6.3 — Эффективная стенка класса 2

6.2.2.5 Характеристики эффективных поперечных сечений класса 4

(1) Характеристики эффективных поперечных сечений класса 4 должны быть основаны на значениях эффективной ширины сжатых частей.

(2) Холодноформованные тонкостенные профили — см. 1.1.2(1) и EN 1993-1-3.

(3) Значения эффективной ширины плоских сжатых частей следует определять по EN 1993-1-5.

(4) Если поперечные сечения класса 4 подвергаются действию осевой сжимающей силы, то для определения возможного смещения e_N нейтральной оси эффективной площади A_{eff} относительно центра тяжести поперечного сечения брутто и дополнительного момента, возникающего при смещении e_N , следует использовать метод, приведенный в EN 1993-1-5:

$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed} e_N. \quad (6.4)$$

Примечание — Знак дополнительного момента зависит от соотношения внутренних сил и моментов, см. 6.2.9.3(2).

(5) Трубчатые поперечные сечения класса 4 — см. EN 1993-1-6.

6.2.3 Центральнo-растянутые элементы

(1) Расчетное значение растягивающей силы N_{Ed} в каждом поперечном сечении должно удовлетворять условию

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0. \quad (6.5)$$

(2) Для сечений с отверстиями для болтов расчетное значение несущей способности на растяжение $N_{t,Rd}$ следует принимать наименьшим из:

а) расчетного значения несущей способности поперечного сечения брутто в пластической стадии

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}; \quad (6.6)$$

б) расчетного значения несущей способности поперечного сечения нетто в пластической стадии при наличии отверстий для болтов

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}. \quad (6.7)$$

(3) Если требуется определить предельное значение, см. EN 1998, то расчетное значение несущей способности в пластической стадии $N_{pl,Rd}$ (как приведено в 6.2.3(2)а)) должно быть меньше расчетного значения несущей способности поперечного сечения нетто с отверстиями для болтов $N_{u,Rd}$ (как приведено в 6.2.3(2)б)).

(4) В соединениях класса С (см. EN 1993-1-8, 3.4.2(1)), расчетное значение несущей способности при растяжении $N_{t,Rd}$ по 6.2.3(1) для поперечного сечения нетто при наличии отверстий для болтов следует принимать равным $N_{net,Rd}$, где

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}}. \quad (6.8)$$

(5) При креплении уголков одной полкой см. также EN 1993-1-8, 3.6.3. Аналогичные требования справедливы также для других типов сечений, прикрепляемых свесом полки.

6.2.4 Центральнo-сжатые элементы

(1) Расчетное значение сжимающей силы N_{Ed} в каждом поперечном сечении следует определять по формуле

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0. \quad (6.9)$$

(2) Расчетное значение несущей способности поперечного сечения при равномерном сжатии $N_{c,Rd}$ следует определять по формулам:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{— для поперечных сечений класса 1, 2 или 3;} \quad (6.10)$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_u}{\gamma_{M0}} \quad \text{— для поперечных сечений класса 4.} \quad (6.11)$$

(3) Отверстия для болтов, за исключением отверстий с большим припуском и овальных отверстий, определенных в EN 1090, в сжатых элементах не учитываются, если в отверстия установлены болты.

(4) В случае несимметричных сечений класса 4 для учета дополнительного момента ΔM_{Ed} , определяемого по указаниям 6.2.2.5(4), следует применять метод, приведенный в 6.2.9.3.

6.2.5 Изгибаемые элементы

(1) Расчетное значение изгибающего момента M_{Ed} в каждом поперечном сечении должно удовлетворять условию

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0, \quad (6.12)$$

где $M_{c,Rd}$ определяется с учетом наличия в сечении отверстий, см. (4) – (6).

(2) Расчетное значение несущей способности на изгиб относительно одной из главных осей поперечного сечения определяется следующим образом:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{— для поперечных сечений классов 1 и 2;} \quad (6.13)$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{— для поперечных сечений класса 3;} \quad (6.14)$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{— для поперечных сечений класса 4,} \quad (6.15)$$

где $W_{el,min}$ и $W_{eff,min}$ соответствуют волокнам с максимальным напряжением в упругой стадии.

(3) При изгибе относительно обеих осей следует использовать метод, приведенный в 6.2.9.

(4) Отверстия для болтов в растянутой полке можно не учитывать, если для нее выполняется условие

$$\frac{A_{f,net} 0,9f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (6.16)$$

где A_f — площадь сечения растянутой полки.

Примечание — Критерий в (4) предусматривает расчет по предельной несущей способности (см. 1.5.8) в местах образования пластических шарниров.

(5) Отверстия в растянутой части стенки учитывать не следует, если неравенство, представленное в (4), удовлетворяется полностью для растянутой зоны, включая растянутую полку и часть растянутой стенки.

(6) Отверстия для болтов, за исключением отверстий с большим припуском и овальных отверстий, расположенных в сжатой зоне сечения, не учитываются, если в отверстия установлены болты.

6.2.6 Элементы, подверженные действию поперечной силы

(1) Расчетное значение поперечной силы V_{Ed} в каждом поперечном сечении должно удовлетворять условию

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0, \quad (6.17)$$

где $V_{c,Rd}$ — расчетное значение несущей способности поперечного сечения на сдвиг. При расчете в пластической стадии $V_{c,Rd}$ принимается равным расчетному значению несущей способности поперечного сечения на сдвиг в пластической стадии $V_{pl,Rd}$, определяемому по (2). При упругом расчете $V_{c,Rd}$ принимается равным расчетному значению несущей способности на сдвиг в упругой стадии, определяемой по (4) и (5).

(2) При отсутствии кручения расчетное значение несущей способности на сдвиг в пластической стадии равно

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}, \quad (6.18)$$

где A_v — площадь сдвига.

(3) Площадь сдвига A_v может приниматься следующим образом:

а) для прокатных двутавровых сечений, нагрузка параллельна стенке

$$A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f, \text{ но не менее } \eta h_w t_w;$$

б) для прокатных швеллерных сечений, нагрузка параллельна стенке

$$A - 2bt_f + (t_w + r)t_f;$$

в) для прокатных тавровых сечений, нагрузка параллельна стенке

$$0,9 \cdot (A - bt_f);$$

г) для сварных двутавровых и коробчатых сечений, нагрузка параллельна стенке

$$\eta \sum (h_w t_w);$$

д) для сварных двутавровых и коробчатых сечений, нагрузка параллельна полкам

$$A - \sum (h_w t_w);$$

е) для прямоугольных замкнутых сечений из листового проката постоянной толщины:

— нагрузка параллельна высоте сечения

$$Ah / (b + h);$$

— нагрузка параллельна ширине сечения

$$Ab / (b + h);$$

ж) для круглых замкнутых сечений из листового проката и труб постоянной толщины

$$2A / \pi,$$

где A — площадь поперечного сечения;

b — ширина сечения;

h — высота сечения;

h_w — высота стенки;

r — радиус сопряжения полки со стенкой;

t_f — толщина полки;

t_w — толщина стенки. (Если толщина стенки не постоянна, то t_w следует принимать равной минимальной толщине);

η — см. EN 1993-1-5.

Примечание — Значение η с достаточной степенью надежности можно принимать равным 1,0.

(4) Для проверки прочности на сдвиг в упругой стадии $V_{c,Rd}$ можно применять следующее условие для критической точки поперечного сечения, если только обеспечена местная устойчивость согласно разделу 5 EN 1993-1-5:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})} \leq 1,0, \quad (6.19)$$

где τ_{Ed} можно определить по формуле

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I t}, \quad (6.20)$$

здесь V_{Ed} — расчетное значение усилия сдвига;

S — статический момент сдвигаемой части сечения относительно центральной оси;

I — момент инерции поперечного сечения;

t — толщина сечения в рассматриваемой точке.

Примечание — Проверка (4) предусматривает запас прочности, так как она исключает ограниченное развитие пластических деформаций сдвига, которое допускается при упругом расчете, см. (5). Поэтому ее следует применять только в тех случаях, когда не возможна проверка на основе $V_{c,Rd}$ в соответствии с условием формулы (6.17).

(5) Для двутавровых сечений касательные напряжения в стенке можно принимать равными

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w}, \text{ если } A_f / A_w \geq 0,6, \quad (6.21)$$

где A_f — площадь сечения одной полки;

A_w — площадь поперечного сечения стенки: $A_w = h_w t_w$.

(6) Кроме того, несущая способность на сдвиг должна приниматься с учетом потери местной устойчивости стенки, не подкрепленной ребрами жесткости, согласно разделу 5 EN 1993-1-5, если

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \frac{\varepsilon}{\eta}, \quad (6.22)$$

значение η см. в разделе 5 EN 1993-1-5.

Примечание — Значение η с достаточной степенью надежности можно принимать равным 1,0.

(7) Отверстия для болтов не учитываются при проверке несущей способности на сдвиг, за исключением проверки прочности на сдвиг зон сопряжения, как указано в EN 1993-1-8.

(8) При совместном действии усилия сдвига и крутящего момента значение несущей способности на сдвиг в пластической стадии $V_{pl,Rd}$ должно быть уменьшено согласно требованиям 6.2.7(9).

6.2.7 Элементы, подверженные кручению

(1) Для элементов, подвергающихся кручению, при котором деформацией сечения можно пренебречь, расчетное значение суммарного крутящего момента T_{Ed} в каждом поперечном сечении должно удовлетворять условию

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0, \quad (6.23)$$

где T_{Rd} — расчетное значение несущей способности поперечного сечения при кручении.

(2) Суммарный крутящий момент T_{Ed} в любом поперечном сечении должен рассматриваться как сумма двух внутренних составляющих:

$$T_{Ed} = T_{t,Ed} + T_{w,Ed}, \quad (6.24)$$

где $T_{t,Ed}$ — расчетное значение внутреннего крутящего момента Сен-Венана;

$T_{w,Ed}$ — расчетное значение внутреннего крутящего момента при стесненном кручении.

(3) Значения $T_{t,Ed}$ и $T_{w,Ed}$ в любом поперечном сечении можно определить по T_{Ed} с помощью упругого расчета, исходя из характеристик сечения элемента, условий закрепления и распределения нагрузок вдоль элемента.

(4) Следует учитывать следующие напряжения, возникающие при кручении:

— касательные напряжения $\tau_{t,Ed}$, вызванные крутящим моментом Сен-Венана $T_{t,Ed}$;

— нормальные напряжения $\sigma_{w,Ed}$, вызванные бимоментом B_{Ed} , и касательные напряжения $\tau_{w,Ed}$, вызванные стесненным кручением $T_{w,Ed}$.

(5) Для проверки в упругой стадии может применяться критерий текучести по 6.2.1(5).

(6) Для определения несущей способности поперечного сечения по изгибающему моменту в пластической стадии, при наличии кручения, следует учитывать только эффекты от B_{Ed} , получаемые в результате статического расчета, см. (3).

(7) С целью упрощения, в элементах замкнутого поперечного сечения влиянием стесненного кручения можно пренебречь. В элементах открытого поперечного сечения, таких как двутавр, влиянием кручения Сен-Венана также можно пренебречь.

(8) При определении значения несущей способности T_{Rd} для замкнутых полых сечений следует учитывать расчетное значение несущей способности на сдвиг отдельных частей поперечного сечения, в соответствии с EN 1993-1-5.

(9) При совместном действии поперечной силы и крутящего момента значение несущей способности на сдвиг в пластической стадии с учетом влияния кручения $V_{pl,Rd}$ должно быть уменьшено до $V_{pl,T,Rd}$, и расчетное значение поперечной силы должно удовлетворять условию

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1,0, \quad (6.25)$$

где $V_{pl,T,Rd}$ определяется следующим образом:

— для двутавров

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}; \quad (6.26)$$

— для швеллеров

$$V_{pl,T,Rd} = \left[\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd}; \quad (6.27)$$

— для замкнутых сечений

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd}, \quad (6.28)$$

где $V_{pl,Rd}$ определяется по 6.2.6.

6.2.8 Элементы, подверженные действию изгибающего момента и поперечной силы

(1) При действии поперечной силы следует принимать во внимание ее влияние на несущую способность на изгиб.

(2) Если поперечная сила меньше половины несущей способности на сдвиг в пластической стадии, его влиянием на несущую способность на изгиб можно пренебречь, кроме случаев, когда потеря местной устойчивости при сдвиге уменьшает несущую способность поперечного сечения, см. EN 1993-1-5.

(3) В остальных случаях уменьшенное значение несущей способности на изгиб следует принимать равным расчетному значению несущей способности поперечного сечения, рассчитанному по уменьшенному значению предела текучести

$$(1 - \rho) f_y, \quad (6.29)$$

где $\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$ и $V_{pl,Rd}$ определяется по 6.2.6(2).

Примечание — См. также 6.2.10(3).

(4) При наличии кручения значение ρ следует определять по формуле $\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} - 1 \right)^2$, см. 6.2.7,

но следует принимать равным нулю при $V_{Ed} \leq 0,5V_{pl,T,Rd}$.

(5) Уменьшенное расчетное значение несущей способности на изгиб в пластической стадии с учетом сдвигающей силы для двутавровых сечений с одинаковыми полками, изгибаемых относительно главной оси, как вариант можно определить по формуле

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4t_w} \right] f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ но } M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd}, \quad (6.30)$$

где $M_{y,c,Rd}$ определяется по 6.2.5(2);

$$A_w = h_w t_w.$$

(6) Совместное действие изгибающего момента, поперечной и осевой сил рассмотрено в разделе 7 EN 1993-1-5.

6.2.9 Элементы, подверженные действию осевой силы с изгибом

6.2.9.1 Поперечные сечения классов 1 и 2

(1) При действии осевой силы следует учитывать ее влияние на несущую способность на изгиб в пластической стадии.

(2) Для поперечных сечений классов 1 и 2 должно выполняться следующее условие:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}, \quad (6.31)$$

где $M_{N,Rd}$ — расчетное значение несущей способности на изгиб в пластической стадии, уменьшенное вследствие действия осевой силы N_{Ed} .

(3) Для прямоугольных сплошных сечений без отверстий $M_{N,Rd}$ следует принимать равным

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \left[1 - (N_{Ed}/N_{pl,Rd})^2 \right]. \quad (6.32)$$

(4) Для двутавровых сечений с двумя осями симметрии или других сечений с полками влияние осевой силы на несущую способность на изгиб относительно оси $y - y$ в пластической стадии учитывать не следует, если выполняются следующие условия:

$$N_{Ed} \leq 0,25N_{pl,Rd} \quad (6.33)$$

$$\text{и } N_{Ed} \leq \frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}. \quad (6.34)$$

Для двутавровых сечений с двумя осями симметрии влияние осевой силы на несущую способность на изгиб относительно оси $z - z$ в пластической стадии учитывать не следует, если выполняется следующее условие:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}. \quad (6.35)$$

(5) Для поперечных сечений, в расчете которых не учитываются отверстия, могут применяться следующие приближенные формулы для прокатных и сварных двутавров с равными полками:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot (1-n)/(1-0,5a) \quad \text{— при } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}, \quad (6.36)$$

$$\text{при } n \leq a: \quad M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}; \quad (6.37)$$

$$\text{при } n > a: \quad M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right], \quad (6.38)$$

где $n = N_{Ed}/N_{pl,Rd}$;

$$a = (A - 2bt_f)/A, \text{ при } a \leq 0,5.$$

Для поперечных сечений, в расчете которых не учитываются отверстия, могут применяться следующие приближенные формулы для прямоугольных замкнутых сечений из листового проката постоянной толщины и для сварных коробчатых сечений с равными полками и стенками:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot (1-n)/(1-0,5a_w) \quad \text{— при } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd} \quad (6.39)$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot (1-n)/(1-0,5a_f) \quad \text{— при } M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}, \quad (6.40)$$

где $a_w = (A - 2bt)/A$, при $a_w \leq 0,5$ — для прямоугольных замкнутых сечений;

$a_w = (A - 2bt_f)/A$, при $a_w \leq 0,5$ — для сварных коробчатых сечений;

$a_f = (A - 2ht)/A$, при $a_f \leq 0,5$ — для прямоугольных замкнутых сечений;

$a_f = (A - 2ht_w)/A$, при $a_f \leq 0,5$ — для сварных коробчатых сечений.

(6) При двухосном изгибе можно применять следующее условие:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1, \quad (6.41)$$

где α и β — параметры, значения которых с запасом можно принимать равными единице, или:

— для двутавровых и H -образных сечений: $\alpha = 2$; $\beta = 5n$ — при $\beta \geq 1$;

— для круглых полых сечений: $\alpha = 2$; $\beta = 2$;

— для прямоугольных полых сечений: $\alpha = \beta = \frac{1,66}{1-1,13n^2}$ — при $\alpha = \beta \leq 6$,

где $n = N_{Ed}/N_{pl,Rd}$.

6.2.9.2 Поперечные сечения класса 3

(1) При отсутствии поперечной силы, максимальные продольные напряжения в сечениях класса 3 должны удовлетворять условию

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (6.42)$$

где $\sigma_{x,Ed}$ — расчетное значение локальных продольных напряжений от действия момента и осевой силы с учетом отверстий для болтов в необходимых случаях, см. 6.2.3, 6.2.4 и 6.2.5.

6.2.9.3 Поперечные сечения класса 4

(1) При отсутствии поперечной силы, максимальные продольные напряжения $\sigma_{x,Ed}$ в сечениях класса 4, рассчитанные с учетом эффективных поперечных сечений (см. 5.5.2(2)), должны удовлетворять условию

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (6.43)$$

где $\sigma_{x,Ed}$ — расчетные значения местных продольных напряжений от действия момента и осевой силы с учетом отверстий для болтов в необходимых случаях, см. 6.2.3, 6.2.4 и 6.2.5.

(2) Должно выполняться следующее условие

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{N,y}}{W_{eff,y,min} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} N_{Ed} e_{N,z}}{W_{eff,z,min} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1, \quad (6.44)$$

где A_{eff} — эффективная площадь поперечного сечения при действии равномерного сжатия;
 $W_{eff,min}$ — минимальный момент сопротивления (соответствующий волокнам с максимальными упругими напряжениями) эффективного поперечного сечения относительно соответствующей оси;

e_N — смещение нейтральной оси эффективной площади A_{eff} относительно центра тяжести поперечного сечения брутто, когда поперечное сечение подвергается только сжатию, см. 6.2.2.5(4).

Примечание — Знаки N_{Ed} , $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ и $\Delta M_i = N_{Ed} e_{N,i}$ зависят от сочетания соответствующих нормальных напряжений.

6.2.10 Элементы, подверженные действию изгибающего момента, поперечной и осевой силы

(1) При действии поперечной и осевой сил следует учитывать их совместное влияние на несущую способность на изгиб.

(2) Если расчетное значение усилия сдвига V_{Ed} не превышает 50 % от расчетного значения несущей способности на сдвиг в пластической стадии $V_{pl,Rd}$, то значение несущей способности, определенное по указаниям 6.2.9, при совместном действии изгибающего момента и осевой силы, снижать не следует, кроме случаев, когда потеря местной устойчивости при сдвиге уменьшает несущую способность сечения, см. EN 1993-1-5.

(3) Если V_{Ed} превышает 50 % от $V_{pl,Rd}$, то расчетное значение несущей способности поперечного сечения при совместном действии момента и осевой силы следует определять по уменьшенному значению предела текучести

$$(1 - \rho) f_y, \quad (6.45)$$

где $\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$ и $V_{pl,Rd}$ вычисляется по 6.2.6(2).

Примечание — Вместо уменьшения предела текучести может быть уменьшена толщина листа в соответствующей части поперечного сечения.

6.3 Несущая способность элементов по устойчивости

6.3.1 Центральное-сжатые элементы постоянного сечения

6.3.1.1 Несущая способность по устойчивости при продольном изгибе

(1) Сжатый элемент следует проверять на устойчивость следующим образом:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0, \quad (6.46)$$

где N_{Ed} — расчетное значение сжимающей силы;

$N_{b,Rd}$ — расчетное значение несущей способности сжатого элемента по устойчивости.

(2) Для элементов несимметричных сечений класса 4 следует учитывать дополнительный момент ΔM_{Ed} , вызванный эксцентриситетом центральной оси эффективного сечения, см. также 6.2.2.5(4), а совместное действие осевой силы и момента следует принимать по 6.3.4 или 6.3.3.

(3) Расчетное значение несущей способности сжатого элемента по устойчивости следует принимать равным:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{— для поперечных сечений классов 1, 2 и 3;} \quad (6.47)$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{\text{eff}} f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{— для поперечных сечений класса 4,} \quad (6.48)$$

где χ — понижающий коэффициент для соответствующей кривой потери устойчивости.

Примечание — Для определения несущей способности элемента по устойчивости с переменным поперечным сечением по длине или при неравномерном сжатии можно выполнять расчет по теории второго порядка в соответствии с 5.3.4(2). При потере устойчивости из плоскости действия момента ΔM_{Ed} см. также 6.3.4.

(4) При определении A и A_{eff} отверстия на концах колонн учитывать не следует.

6.3.1.2 Кривые потери устойчивости

(1) При центральном сжатии элементов значение χ в зависимости от условной гибкости $\bar{\lambda}$ следует определять по соответствующей кривой потери устойчивости по формуле

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{— при } \chi \leq 1,0, \quad (6.49)$$

где $\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$;

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{— для поперечных сечений классов 1, 2 и 3;}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{— для поперечных сечений класса 4,}$$

здесь α — коэффициент, учитывающий начальные несовершенства;

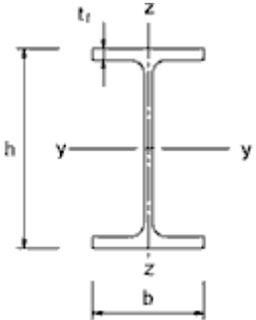
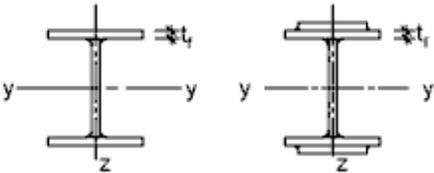
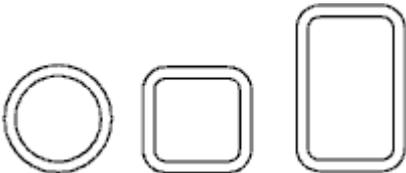
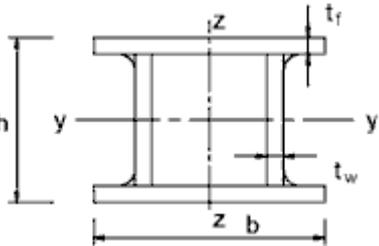
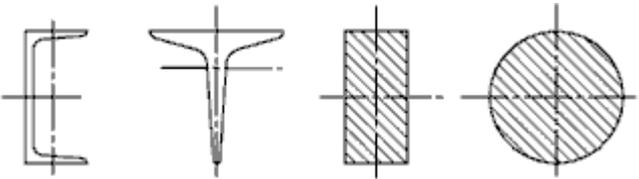
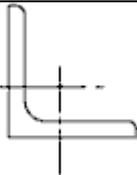
N_{cr} — критическая сила для соответствующей формы потери устойчивости в упругой стадии, зависящая от характеристик поперечного сечения брутто.

(2) Коэффициент α , соответствующий определенной кривой потери устойчивости, принимается по таблицам 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1 — Коэффициент, учитывающий начальные несовершенства для кривых потери устойчивости при центральном сжатии

Кривая потери устойчивости	a_0	a	b	c	d
Коэффициент α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Таблица 6.2 — Выбор кривой потери устойчивости

Поперечные сечения		Пределы	Потеря устойчивости относительно оси	Кривая потери устойчивости		
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
Прокатные сечения		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ мм	y-y z-z	a b	a ₀ a ₀
			$40 \text{ мм} < t_f \leq 100$ мм	y-y z-z	b c	a a
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ мм	y-y z-z	b c	a a
			$t_f > 100$ мм	y-y z-z	d d	c c
Сварные двутавровые сечения		$t_f \leq 40$ мм	y-y z-z	b c	b c	
		$t_f > 40$ мм	y-y z-z	c d	c d	
Замкнутые сечения		Горячедеформированные	Все	a	a ₀	
		Холоднодеформированные	Все	c	c	
Сварные коробчатые сечения		В целом (в общем случае) (кроме перечисленных ниже)	Все	b	b	
		С толщиной сварных швов: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Все	c	c	
Швеллеры, тавры и сплошные сечения			Все	c	c	
Уголки			Все	b	b	

(3) Численные значения понижающего коэффициента χ для соответствующей условной гибкости $\bar{\lambda}$ можно определить по графику на рисунке 6.4.

(4) При гибкости $\bar{\lambda} \leq 0,2$ или при $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,04$ потерей устойчивости можно пренебречь и проверять поперечное сечение только на прочность.

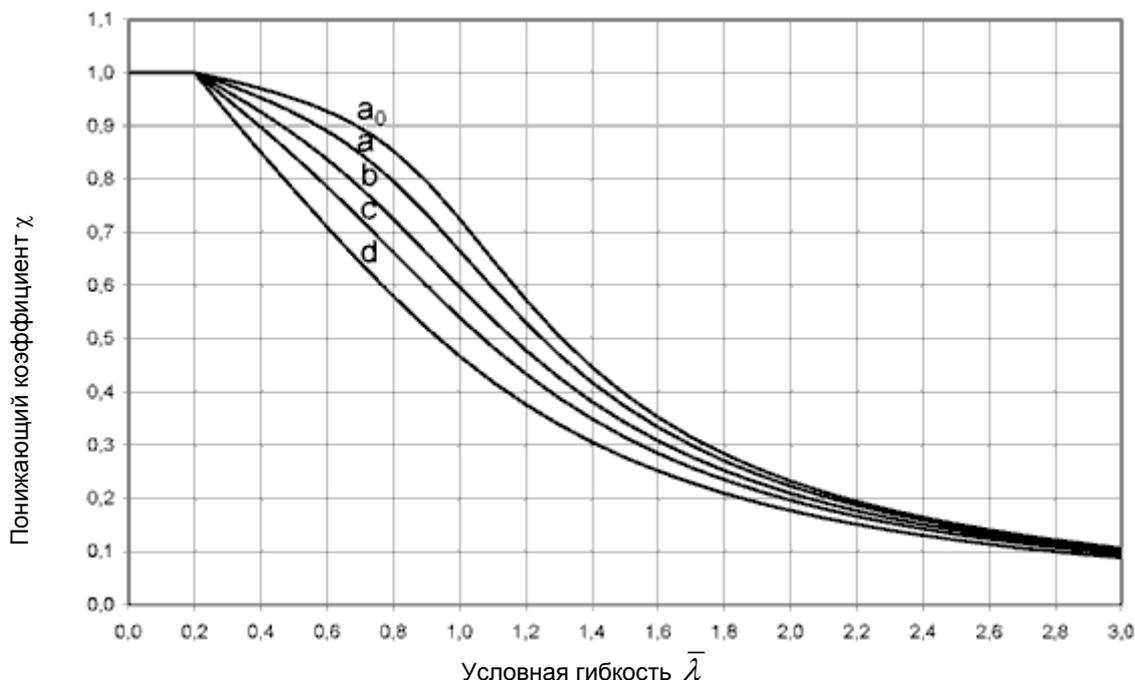


Рисунок 6.4 — Кривые потери устойчивости

6.3.1.3 Гибкость при продольном изгибе

(1) Условная гибкость $\bar{\lambda}$ равна:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{— для поперечных сечений классов 1, 2 и 3; (6.50)}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff}f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} \cdot \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{— для поперечных сечений класса 4, (6.51)}$$

где L_{cr} — расчетная длина;

i — радиус инерции поперечного сечения брутто относительно соответствующей оси;

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon,$$

здесь $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$, (f_y в Н/мм²).

Примечание В — При потере устойчивости элементов строительных конструкций зданий в упругой стадии см. приложение ВВ.

(2) При продольном изгибе соответствующую кривую потери устойчивости следует определять по таблице 6.2.

6.3.1.4 Гибкость при крутильной и изгибно-крутильной форме потери устойчивости

(1) Для элементов с сечением открытого типа следует учитывать возможность того, что несущая способность элемента по крутильной или изгибно-крутильной форме потери устойчивости может оказаться меньше несущей способности плоской формы потери устойчивости.

(2) Условную гибкость $\bar{\lambda}_T$ при крутильной или изгибно-крутильной форме потери устойчивости следует принимать равной

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{— для поперечных сечений классов 1, 2 и 3,} \quad (6.52)$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{— для поперечных сечений класса 4,} \quad (6.53)$$

где $N_{cr} = N_{cr,TF}$ — при $N_{cr} < N_{cr,T}$;

здесь $N_{cr,TF}$ — критическая сила потери устойчивости в упругой стадии по изгибно-крутильной форме;

$N_{cr,T}$ — критическая сила потери устойчивости в упругой стадии по крутильной форме.

(3) При крутильной или изгибно-крутильной форме потери устойчивости соответствующую кривую потери устойчивости можно определить по таблице 6.2, соответствующую оси z.

6.3.2 Изгибаемые элементы постоянного сечения

6.3.2.1 Несущая способность по устойчивости

(1) Элемент, изгибаемый относительно главной оси и не раскрепленный из плоскости действия изгибающего момента, следует проверять на устойчивость плоской формы изгиба по формуле

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0, \quad (6.54)$$

где M_{Ed} — расчетное значение изгибающего момента;

$M_{b,Rd}$ — расчетное значение несущей способности изгибаемого элемента по устойчивости плоской формы изгиба.

(2) Балки с достаточным раскреплением сжатой полки не теряют устойчивости плоской формы изгиба. Кроме того, балки определенного типа поперечного сечения, такого как квадратные или круглые замкнутые сечения из листового проката постоянной толщины, сварные круглые трубы или прямоугольные коробчатые сечения, также не подвержены потере устойчивости плоской формы изгиба.

(3) Расчетное значение несущей способности по устойчивости плоской формы изгиба для балок, не раскрепленных из плоскости действия изгибающего момента, следует принимать равным

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}, \quad (6.55)$$

где W_y — соответствующий момент сопротивления сечения, принимаемый следующим образом:

а) $W_y = W_{pl,y}$ — для поперечных сечений классов 1 и 2;

б) $W_y = W_{el,y}$ — для поперечных сечений класса 3;

в) $W_y = W_{eff,y}$ — для поперечных сечений класса 4;

χ_{LT} — понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба.

Примечание 1 — Для определения несущей способности элемента по устойчивости балок переменного сечения можно выполнять расчет по теории второго порядка в соответствии с 5.3.4(3). При потере устойчивости из плоскости см. также 6.3.4.

Примечание 2B — Проверку устойчивости элементов строительных конструкций зданий см. также приложение ВВ.

(4) При определении W_y отверстия на конце балки учитывать не следует.

6.3.2.2 Кривые потери устойчивости плоской формы изгиба. Общий случай

(1) Если не указано другое, см. 6.3.2.3, для изгибаемых элементов постоянного поперечного сечения значение χ_{LT} при соответствующей условной гибкости $\bar{\lambda}_{LT}$ следует определять по формуле

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \text{ но } \chi_{LT} \leq 1,0, \quad (6.56)$$

где $\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$;

здесь α_{LT} — коэффициент, учитывающий начальные несовершенства;

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y'y'}}{M_{cr}}}$$

M_{cr} — критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии.

(2) При определении M_{cr} принимаются геометрические характеристики поперечного сечения брутто и учитываются условия загрузки, действительное распределение момента и раскрепления из плоскости действия изгибающего момента.

Примечание — Коэффициент α_{LT} , соответствующий определенной кривой потери устойчивости, может быть установлен в национальном приложении. Рекомендуемые значения α_{LT} приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 — Рекомендуемые значения коэффициентов, учитывающих начальные несовершенства, для кривых потери устойчивости плоской формы изгиба

Кривая потери устойчивости	a	b	c	d
Коэффициент α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Рекомендации по выбору кривой потери устойчивости приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 — Рекомендуемые кривые потери устойчивости плоской формы изгиба в расчетах с использованием формулы (6.56)

Поперечное сечение	Пределы	Кривая потери устойчивости
Прокатные двутавровые сечения	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Сварные двутавровые сечения	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Другие поперечные сечения	—	d

(3) Значения понижающего коэффициента χ_{LT} при соответствующей условной гибкости $\bar{\lambda}_{LT}$ можно определить по графику на рисунке 6.4.

(4) При условной гибкости $\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}$ (см. 6.3.2.3) или при $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^2$ (см. 6.3.2.3) проверкой устойчивости плоской формы изгиба можно пренебречь.

6.3.2.3 Кривые потери устойчивости плоской формы изгиба для прокатных или эквивалентных сварных поперечных сечений

(1) Для изгибаемых прокатных или эквивалентных сварных сечений значения χ_{LT} для соответствующей условной гибкости можно определить по формуле

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \text{ но } \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases} \quad (6.57)$$

где $\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2]$.

Примечание — Параметры $\bar{\lambda}_{LT,0}$ и β и любые обоснованные ограничения, касающиеся высоты балки и отношения h/b , могут быть приведены в национальном приложении. Для прокатных и эквивалентных сварных сечений рекомендуются следующие значения:

- $\bar{\lambda}_{LT} = 0,4$ (максимальное значение);
- $\beta = 0,75$ (минимальное значение).

Рекомендации по выбору кривых потери устойчивости приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 — Рекомендации по выбору кривой потери устойчивости плоской формы изгиба в расчетах с использованием формулы (6.57)

Поперечное сечение	Пределы	Кривая потери устойчивости
Прокатные двутавровые сечения	$h/b \leq 2$	<i>b</i>
	$h/b > 2$	<i>c</i>
Сварные двутавровые сечения	$h/b \leq 2$	<i>c</i>
	$h/b > 2$	<i>d</i>

(2) Для учета изменения изгибающего момента в балке между элементами бокового раскрепления, понижающий коэффициент χ_{LT} можно скорректировать следующим образом:

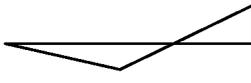
$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f}, \text{ но } \chi_{LT,mod} \leq 1. \tag{6.58}$$

Примечание — Значения *f* могут быть приведены в национальном приложении. Рекомендуются следующие минимальные значения:

$$f = 1 - 0,5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left[1 - 2,0 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right], \text{ но } f \leq 1,0,$$

где *k_c* — поправочный коэффициент, принимаемый по таблице 6.6.

Таблица 6.6 — Поправочные коэффициенты *k_c*

Эпюра моментов	<i>k_c</i>
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
  	0,94 0,90 0,91
  	0,86 0,77 0,82

6.3.2.4 Упрощенный метод для балок с элементами бокового раскрепления

(1)В Устойчивость плоской формы изгиба элементов с дискретным боковым раскреплением сжатых полк обеспечена, если обеспечена длина L_c между раскреплениями или результирующая гибкость $\bar{\lambda}_f$ эквивалентной сжатой полки удовлетворяет условию

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c,0} \cdot \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}, \quad (6.59)$$

где $M_{y,Ed}$ — максимальное расчетное значение изгибающего момента между точками раскрепления относительно оси $y - y$;

k_c — поправочный коэффициент по таблице 6.6;

$i_{f,z}$ — радиус инерции эквивалентной сжатой полки, состоящей из сжатой полки плюс 1/3 сжатой части площади поперечного сечения стенки, относительно второстепенной оси сечения;

$\bar{\lambda}_{c,0}$ — предельное значение условной гибкости эквивалентной сжатой полки, определенной выше;

$$M_{c,Rd} = W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}},$$

здесь W_y — момент сопротивления сечения, соответствующий сжатой полке;

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon,$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}, \quad (f_y \text{ в Н/мм}^2).$$

Примечание 1В — Для поперечных сечений класса 4 $i_{f,z}$ можно принимать равным

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{\text{eff},f}}{A_{\text{eff},f} + \frac{1}{3}A_{\text{eff},w,c}}},$$

где $I_{\text{eff},f}$ — момент инерции эффективного сечения сжатой полки относительно второстепенной оси сечения;

$A_{\text{eff},f}$ — площадь эффективного сечения сжатой полки;

$A_{\text{eff},w,c}$ — площадь эффективного сечения сжатой части стенки.

Примечание 2В — Предельное значение условной гибкости $\bar{\lambda}_{c,0}$ может быть приведено в национальном приложении. Рекомендуемое предельное значение $\bar{\lambda}_{c,0} = \bar{\lambda}_{L,T,0} + 0,1$, см. 6.3.2.3.

(2)В Если условная гибкость сжатой полки $\bar{\lambda}_f$ превышает предел, установленный в (1)В, расчетный критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба можно принимать равным

$$M_{b,Rd} = k_{fl} \chi M_{c,Rd}, \text{ но } M_{b,Rd} \leq M_{c,Rd}, \quad (6.60)$$

где χ — понижающий коэффициент для эквивалентной сжатой полки, определяемый по $\bar{\lambda}_f$;

k_{fl} — поправочный коэффициент, учитывающий упрощенный расчет по методу эквивалентной сжатой полки.

Примечание В — Поправочный коэффициент может быть приведен в национальном приложении. Рекомендуемое значение $k_{fl} = 1,10$.

(3)В Кривые потери устойчивости для (2)В следует принимать следующим образом:

— кривая d — для сварных сечений, удовлетворяющих условию: $\frac{h}{t_f} \leq 44\varepsilon$;

— кривая c — для всех остальных сечений,

где h — полная высота поперечного сечения;

t_f — толщина сжатой полки.

Примечание В — При потере устойчивости плоской формы изгиба элементов строительных конструкций с боковыми раскреплениями см. также раздел ВВ.3 (приложение ВВ).

6.3.3 Сжато-изгибаемые (внецентренно сжатые) элементы постоянного сечения

(1) Если статический расчет производится по теории второго порядка с учетом начальных несовершенств, указанных в 5.3.2, проверку на устойчивость элементов постоянного сечения с двумя осями симметрии, не чувствительных к кручению, следует выполнять в соответствии со следующими пунктами, в которых различают:

- элементы, не испытывающие деформации кручения, например круглые замкнутые сечения или сечения, раскрепленные от кручения;
- элементы, испытывающие деформации кручения, например элементы открытого сечения и не раскрепленные от кручения.

(2) Кроме того, несущая способность поперечного сечения по прочности в каждом конце элемента должна удовлетворять требованиям, приведенным в 6.2.

Примечание 1 — Формулы основаны на анализе работы сжато-изгибаемых (внецентренно сжатых) свободно опертых однопролетных элементов с шарнирным опиранием концов с непрерывным или дискретным боковым раскреплением.

Примечание 2 — В случае невыполнения условий, приведенных в (1) и (2), см. 6.3.4.

(3) Проверка несущей способности по прочности элементов конструктивных систем может выполняться для отдельных однопролетных элементов, «вырезанных» из системы. Эффекты второго рода (P-Δ-эффекты) в системах, подверженных перекоосу, должны учитываться либо введением в элемент концевых моментов, либо изменением соответствующей расчетной длины, см. 5.2.2(3)в) и 5.2.2(8).

(4) Для сжато-изгибаемых (внецентренно-сжатых) элементов должны выполняться условия:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1, \tag{6.61}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1, \tag{6.62}$$

где N_{Ed} , $M_{y,Ed}$, и $M_{z,Ed}$ — расчетные значения сжимающей силы и максимальных моментов относительно осей $y - y$ и $z - z$ соответственно;

$\Delta M_{y,Ed}$, $\Delta M_{z,Ed}$ — моменты от смещения центра тяжести относительно осей $y - y$ и $z - z$ соответственно по 6.2.9.3 для сечений класса 4, таблица 6.7;

χ_y и χ_z — понижающие коэффициенты при плоской форме потери устойчивости, см. 6.3.1;

χ_{LT} — понижающий коэффициент при проверке устойчивости плоской формы изгиба, см. 6.3.2;

k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} — коэффициенты взаимодействия.

Таблица 6.7 — Значения для вычисления $N_{Rk} = f_y A_i$, $M_{i,Rk} = f_y W_i$ и $\Delta M_{i,Ed}$

Величина	Класс сечений			
	1	2	3	4
A_i	A	A	A	A_{eff}
W_y	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{eff,y}$
W_z	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$e_{N,y} N_{Ed}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$e_{N,z} N_{Ed}$

Примечание — Для элементов, не чувствительных к деформациям кручения, $\chi_{LT} = 1,0$.

(5) Коэффициенты взаимодействия k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} зависят от выбранного метода.

Примечание 1 — Коэффициенты взаимодействия k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} получены двумя альтернативными методами. Значения этих коэффициентов могут быть определены по приложению А (альтернативный метод 1) или по приложению В (альтернативный метод 2).

Примечание 2 — Выбор между альтернативными методами 1 и 2 может быть сделан в национальном приложении.

Примечание 3 — С целью упрощения проверки могут осуществляться только в области упругих деформаций.

6.3.4 Общий метод проверки устойчивости элементов при продольном изгибе и плоской форме изгиба

(1) Этот метод можно использовать в случае, если не применимы методы, приведенные в 6.3.1, 6.3.2 и 6.3.3. Он позволяет проверить устойчивость продольному изгибу и устойчивость плоской формы изгиба таких строительных конструкций как:

— отдельные элементы составного или сплошного, постоянного или переменного сечения, со сложными или простыми условиями опирания, либо

— плоские рамы или части рам, состоящие из элементов, подверженных центральному сжатию и/или плоскому изгибу.

Примечание — Национальное приложение может устанавливать пределы и область применения этого метода.

(2) Общую устойчивость из плоскости любых конструктивных элементов, соответствующих условиям (1), можно проверить по неравенству

$$\frac{\chi_{op} \alpha_{ult,k}}{\gamma_{M1}} \geq 1,0, \quad (6.63)$$

где $\alpha_{ult,k}$ — минимальный коэффициент увеличения расчетных нагрузок для достижения нормативного значения несущей способности по устойчивости самого критического поперечного сечения конструктивного элемента, рассматривая его работу в плоскости без учета потери устойчивости продольного изгиба или плоской формы изгиба, но с учетом, при необходимости, эффектов, обусловленных геометрической деформацией в плоскости,

а также общими и локальными начальными несовершенствами;

χ_{op} — понижающий коэффициент для условной гибкости $\bar{\lambda}_{op}$, см. (3), для учета потери устойчивости плоской формы изгиба или при продольном изгибе.

(3) Общую условную гибкость $\bar{\lambda}_{op}$ элементов конструкций следует определять по формуле

$$\bar{\lambda}_{op} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr,op}}}, \quad (6.64)$$

где $\alpha_{ult,k}$ — определено в (2);

$\alpha_{cr,op}$ — минимальный коэффициент увеличения расчетных нагрузок в плоскости для достижения конструктивным элементом упругого критического значения несущей способности по устойчивости продольного изгиба или плоской формы изгиба, но без учета потери устойчивости при внецентренном сжатии (сжатии с изгибом).

Примечание — При определении $\alpha_{cr,op}$ и $\alpha_{ult,k}$ можно использовать расчет по методу конечных элементов.

(4) Понижающий коэффициент χ_{op} можно определить любым из следующих методов:

а) минимальное из значений:

— χ при продольном изгибе в соответствии с 6.3.1;

— χ_{LT} при плоской форме изгиба в соответствии с 6.3.2, каждое из которых соответствует общей условной гибкости $\bar{\lambda}_{op}$.

Примечание — Например, если коэффициент $\alpha_{ult,k}$, соответствующий поперечному сечению, определяется

по формуле $\frac{1}{\alpha_{ult,k}} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}$, то условие для χ_{op} принимает следующий вид:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq \chi_{op}; \quad (6.65)$$

б) значение, полученное интерполяцией между значениями χ и χ_{LT} , вычисленными по указаниям а) с использованием формулы для коэффициента $\alpha_{ult,k}$, соответствующего критическому поперечному сечению.

Примечание — Например, если коэффициент $\alpha_{ult,k}$, соответствующий поперечному сечению, определяется по формуле $\frac{1}{\alpha_{ult,k}} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}$, то условие для χ и χ_{LT} принимает следующий вид:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1. \quad (6.66)$$

6.3.5 Потеря устойчивости плоской формы изгиба элементов с пластическими шарнирами

6.3.5.1 Общие положения

(1) В Конструкции могут рассчитываться с учетом пластических деформаций при условии обеспечения устойчивости плоской формы изгиба в раме следующими способами:

а) раскреплением в местах образования пластических шарниров, обладающих свойствами значительного поворота (элементы сечением классов 1 и 2), см. 6.3.5.2;

б) проверкой устойчивой длины участка между такими раскреплениями и другими боковыми раскреплениями из плоскости, см. 6.3.5.3.

(2) В Если при всех сочетаниях нагрузок в предельном состоянии пластический шарнир не образуется, никаких раскреплений не требуется.

6.3.5.2 Раскрепления пластических шарниров

(1) В Во всех местах образования пластических шарниров поперечное сечение должно быть раскреплено от бокового смещения и кручения с соответствующей несущей способностью на действие боковых сил и кручения, вызываемых местными пластическими деформациями элемента в этих местах.

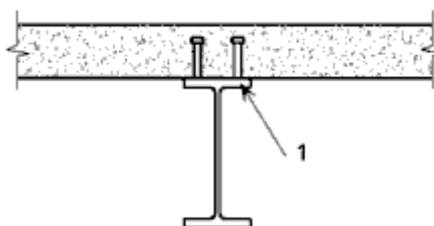
(2) В Эффективное раскрепление должно быть обеспечено:

— в элементах, подверженных действию изгибающего момента или изгибающего момента и сжатию осевой силой, — боковым раскреплением обеих полк. Оно может быть обеспечено боковым закреплением одной полки и жестким закреплением поперечного сечения от кручения, препятствующим боковому смещению сжатой полки относительно растянутой полки, рисунок 6.5;

— в элементах, подверженных действию изгибающего момента или изгибающего момента и растяжению осевой силой, в которых сжатая полка соприкасается с плитой перекрытия, — раскреплением от бокового смещения сжатой полки и кручения сечения (например, при присоединении ее к плите, рисунок 6.6). Для более гибких сечений (по сравнению с прокатными двутаврами) в местах образования пластического шарнира следует предотвращать кручение поперечного сечения (например, постановкой поперечного ребра жесткости в стенке балки, прикрепленного к сжатой полке, жестко соединенной с плитой).



Рисунок 6.5 — Типовое жесткое закрепление от кручения



1 — сжатая полка

Рисунок 6.6 — Типовое раскрепление от бокового смещения сжатой полки плитой

и от кручения поперечного сечения

(3) Во всех местах, где образуется пластический шарнир, соединение (например, болтовое) сжатой полки с раскрепляющим элементом (например, прогоном) или с любым промежуточным элементом (например, раскосом) должно быть рассчитано на восприятие локальной силы, равной не менее 2,5 % от $N_{f,Ed}$ (определено в 6.3.5.2(5)В), передаваемое полкой в ее плоскости, перпендикулярной плоскости стенки, без какого-либо сочетания с другими нагрузками.

(4) При невозможности раскрепить непосредственно место образования пластического шарнира, его следует раскрепить на расстоянии не более $h/2$ вдоль элемента, где h — полная высота сечения в месте образования пластического шарнира.

(5) При расчете системы связей, см. 5.3.3, необходимо проверить условие (кроме расчета с учетом начальных несовершенств в соответствии с 5.3.3), что система связей способна воспринять действие локальных сил Q_m , приложенных к каждому элементу связей в местах образования пластического шарнира, равных:

$$Q_m = 1,5\alpha_m \cdot \frac{N_{f,Ed}}{100}, \quad (6.67)$$

где $N_{f,Ed}$ — осевая сила в сжатой полке раскрепляемого элемента в месте образования пластического шарнира;

α_m — в соответствии с 5.3.3(1).

Примечание — Сочетание указанного усилия с усилиями от внешней нагрузки — см. также 5.3.3(5).

6.3.5.3 Проверка устойчивой длины участков между раскреплениями

(1) Устойчивость плоской формы изгиба на участках между раскреплениями обеспечена, если длина между раскреплениями не превышает устойчивую длину.

Для двутавровых балок постоянного сечения, для которых выполняется условие $\frac{h}{t_f} \leq 40\varepsilon$, при

линейном распределении моментов и незначительном осевом сжатии, устойчивую длину можно принимать равной

$$\begin{aligned} L_{\text{stable}} &= 35\varepsilon i_z && \text{— при } 0,625 \leq \psi \leq 1, \\ L_{\text{stable}} &= (60 - 40\psi)\varepsilon i_z && \text{— при } -1 \leq \psi \leq 0,625, \end{aligned} \quad (6.68)$$

где $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$;

$$\psi = \frac{M_{Ed, \min}}{M_{pl, Rd}} = \text{отношению концевых моментов на участке.}$$

Примечание В — Определение устойчивой длины участка — см. также раздел ВВ.3 (приложение ВВ).

(2) Если место образования пластического шарнира оказывается в непосредственной близости от одного из концов вута, то участок переменной высоты не следует рассматривать как участок, прилегающий к месту образования пластического шарнира, если выполняются следующие условия:

— раскрепление в месте образования пластического шарнира предусмотрено на расстоянии не более $h/2$ от шарнира на участке переменной высоты, но не на участке постоянного сечения;

— сжатая полка вута работает в упругой стадии по всей своей длине.

Примечание В — Подробные указания — см. раздел ВВ.3 (приложение ВВ).

6.4 Сжатые сквозные элементы постоянного сечения**6.4.1 Общие положения**

(1) Сжатые сквозные элементы постоянного сечения с шарнирно неподвижными опорами должны проектироваться по следующей модели, рисунок 6.7:

1) элемент может рассматриваться как колонна, с начальным искривлением $e_0 = \frac{L}{500}$;

2) влияние податливости раскосной или планочной решетки на снижение жесткости сквозного элемента в расчетах учитывается введением сдвиговой жесткости S_v постоянного значения по длине, см. рисунок 6.7.

Примечание — При других условиях опирания могут быть внесены соответствующие изменения.

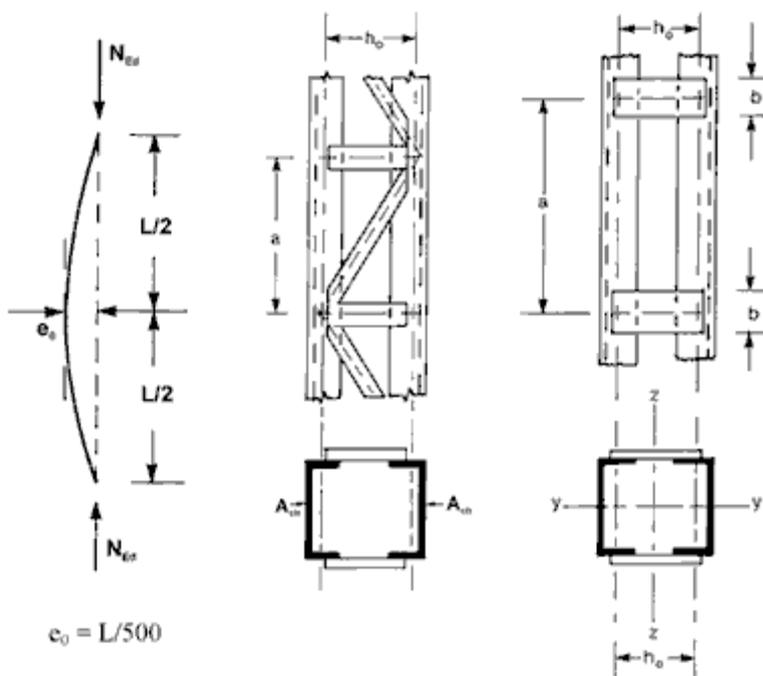


Рисунок 6.7 — Сквозные колонны постоянного сечения с раскосной и планочной решеткой

(2) Модель сжатого сквозного элемента постоянного сечения применяется в следующих случаях:

1) расстояния между узлами раскосной или планочной решетки постоянны по длине элемента с ветвями;

2) минимальное число панелей в элементе равно трем.

Примечание — Это допущение позволяет рассматривать дискретную конструкцию как сплошную.

(3) Данный метод расчета применим для сквозных элементов с раскосной решеткой в двух плоскостях, рисунок 6.8.

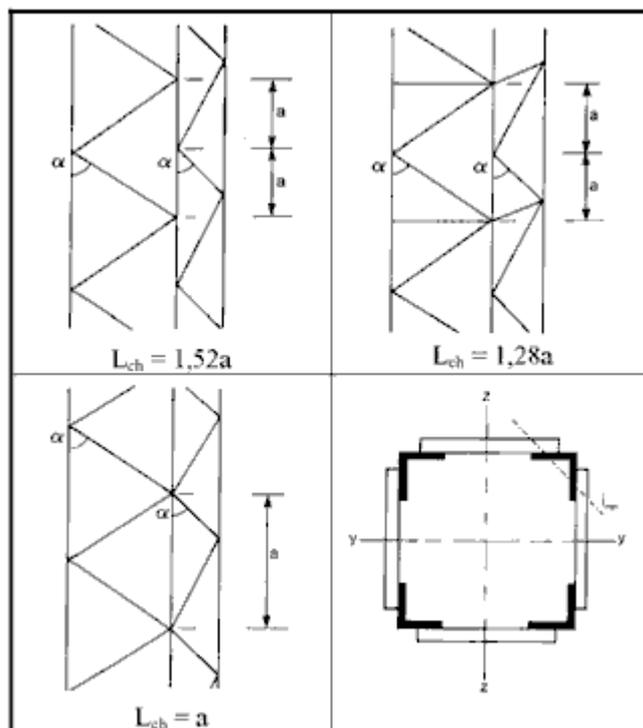


Рисунок 6.8 — Раскосная решетка по четырем граням элемента и расчетная длина ветвей L_{ch}

(4) Ветви могут быть сплошного сечения, или сквозного с раскосной или планочной решеткой относительно оси $y - y$.

(5) При проверке ветвей используют расчетные усилия в ветви $N_{ch,Ed}$ от сжимающих усилий N_{Ed} и моментов M_{Ed} в середине пролета сквозного элемента.

(6) Для элемента с двумя одинаковыми полками расчетное усилие $N_{ch,Ed}$ следует определять по формуле

$$N_{ch,Ed} = 0,5N_{Ed} + \frac{M_{Ed}h_0A_{ch}}{2I_{eff}}, \quad (6.69)$$

где N_{Ed} — расчетное значение сжимающей силы, действующей на сквозной элемент;

h_0 — расстояние между центрами тяжести сечений ветвей;

A_{ch} — площадь поперечного сечения одной ветви;

I_{eff} — момент инерции эффективного сечения сквозного элемента, см. 6.4.2 и 6.4.3;

M_{Ed} — расчетное значение максимального момента в середине длины сквозного элемента от эффектов второго рода:

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed}e_0 + M'_{Ed}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}}$$

здесь M'_{Ed} — расчетное значение максимального момента, возникающего в середине длины сквозного элемента без учета момента от эффектов второго рода;

S_v — сдвиговая жесткость колонны с раскосной или планочной решеткой, см. 6.4.2 и 6.4.3;

$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2}$ — эффективная критическая сила в сквозном элементе.

7) Проверка раскосов или планок сквозных элементов должна выполняться для крайней панели на поперечную силу, определяемую по формуле

$$V_{Ed} = \pi \cdot \frac{M_{Ed}}{L}. \quad (6.70)$$

6.4.2 Сжатые элементы с раскосной решеткой

6.4.2.1 Несущая способность сжатых элементов с раскосной решеткой

(1) Ветви и раскосы, работающие на сжатие, должны рассчитываться на устойчивость.

Примечание — Моментами от эффектов второго рода можно пренебречь.

(2) Проверку устойчивости полок следует выполнять по формуле

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0, \tag{6.71}$$

где $N_{ch,Ed}$ — расчетное сжимающее усилие в ветви сквозного элемента, в соответствии с 6.4.1(6);
 $N_{b,Rd}$ — расчетное значение несущей способности ветви по устойчивости при продольном изгибе ветви с расчетной длиной L_{ch} по рисунку 6.8.

(3) Сдвиговую жесткость раскосной решетки S_v следует принимать по рисунку 6.9.

(4) Момент инерции эффективного сечения сквозных элементов с раскосной решеткой можно принимать равным

$$I_{eff} = 0,5h_0^2 A_{ch}. \tag{6.72}$$

6.4.2.2 Конструктивные требования

(1) Решетка с двумя плоскостями одиночных раскосов на противоположных сторонах сквозного элемента должна соответствовать решетке на рисунке 6.10а), устроенной так, что раскосы одной стороны повторяют другую.

(2) Если решетка с двумя плоскостями одиночных раскосов на противоположных сторонах сквозного элемента располагается в противоположных направлениях, как показано на рисунке 6.10б), то при расчете следует учитывать кручение элемента.

(3) Диафрагмы должны быть устроены по концам крайних панелей раскосной решетки, в местах ее прерывания и в местах примыкания к колонне других элементов.

Система			
S_v	$\frac{nEA_dah_0^2}{2d^3}$	$\frac{nEA_dah_0^2}{d^3}$	$\frac{nEA_dah_0^2}{d^3 \cdot \left[1 + \frac{A_d h_0^3}{A_v d^3} \right]}$
<p>n — количество плоскостей решетки; A_d и A_v соответствуют площади поперечного сечения элементов решетки.</p>			

Рисунок 6.9 — Сдвиговая жесткость раскосной решетки

а) Совпадающая решеточная система (рекомендуется)

б) Взаимно противоположная решеточная система (не рекомендуется)

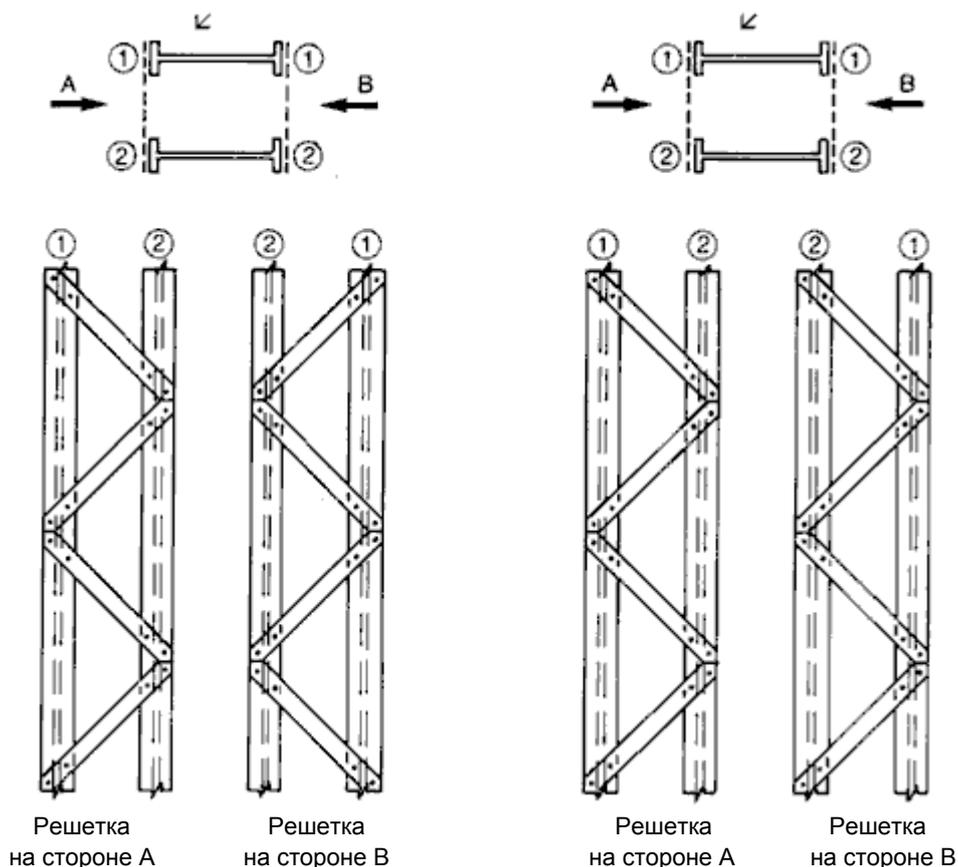


Рисунок 6.10 — Решетка с двумя плоскостями одиночных расколов на противоположных сторонах сквозного элемента

6.4.3 Сжатые элементы с планочной решеткой

6.4.3.1 Несущая способность сжатых элементов с планочной решеткой

(1) Ветви, планки и их соединения с ветвями должны проверяться на действие моментов и сил, как показано на рисунке 6.11.

Примечание — С целью упрощения, максимальные расчетные усилия в ветвях $N_{ch,Ed}$ могут сочетаться с максимальной поперечной силой V_{Ed} .

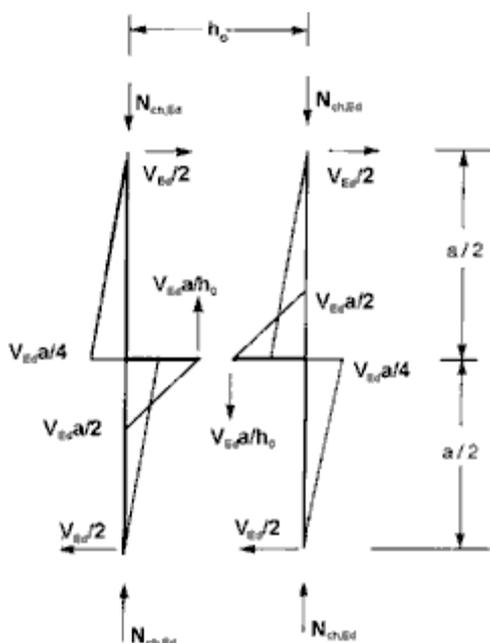


Рисунок 6.11 — Моменты и усилия на концах панели сквозного элемента с планочной решеткой

(2) Сдвиговую жесткость S_v следует принимать равной

$$S_v = \frac{24EI_{ch}}{a^2 \cdot \left[1 + \frac{2I_{ch} \cdot h_0}{nI_b \cdot a} \right]} \leq \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2}, \quad (6.73)$$

где I_b — момент инерции сечения одной планки в плоскости решетки;
 n — количество плоскостей планочной решетки.

(3) Момент инерции эффективного сечения сквозного элемента с планочной решеткой можно принимать равным

$$I_{\text{eff}} = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2\mu I_{ch}, \quad (6.74)$$

где I_{ch} — момент инерции сечения одной ветви в плоскости решетки;
 μ — коэффициент эффективности по таблице 6.8.

Таблица 6.8 — Коэффициент эффективности μ

Критерий	Коэффициент эффективности μ
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda \leq 75$	1,0

Где $\lambda = \frac{L}{i_0}$; $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{ch}}}$; $I_1 = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2I_{ch}$.

6.4.3.2 Конструктивные требования

- (1) Планки должны быть размещены на каждом конце элемента.
- (2) Если предусмотрены параллельные плоскости планок, планки в каждой плоскости должны располагаться друг напротив друга.
- (3) Планки должны также быть предусмотрены в промежуточных точках, где приложены нагрузки или установлено боковое раскрепление.

6.4.4 Элементы составного сечения

(1) Сжатые элементы составного сечения с соприкасающимися или близко расположенными ветвями, соединенные прокладками, рисунок 6.12, или крестового сечения из уголков, планками в двух перпендикулярных плоскостях, рисунок 6.13, следует проверять на устойчивость как сплошные элементы, пренебрегая влиянием сдвиговой жесткости ($S_v = \infty$), при выполнении условий таблицы 6.9.

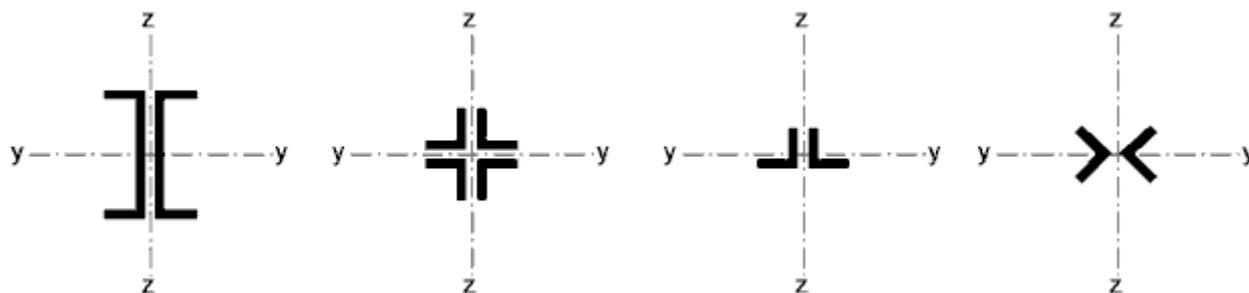


Рисунок 6.12 — Составные элементы

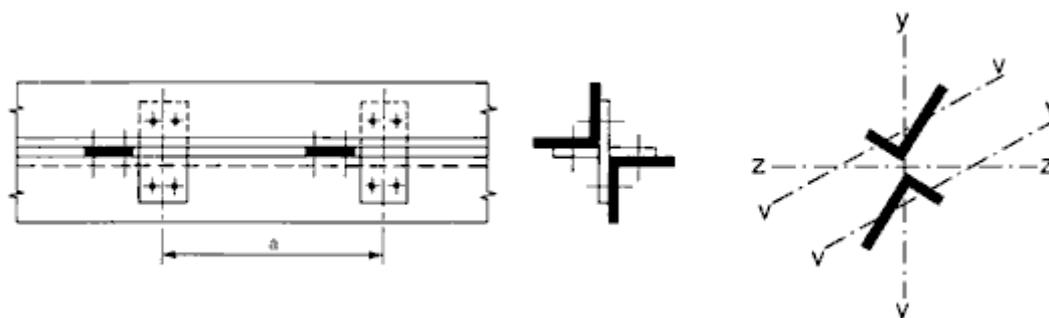


Рисунок 6.13 — Угловые элементы, соединенные по типу «звезда»

Таблица 6.9 — Максимальные расстояния между прокладками в элементах составного сечения

Тип составного элемента	Максимальное расстояние между прокладками*
Элементы, приведенные на рисунке 6.12, соединенные на болтах или сварке	$15i_{\min}$
Элементы, приведенные на рисунке 6.13, соединенные парой прокладок	$70i_{\min}$
Где i_{\min} — минимальный радиус инерции одной ветви.	
* Это расстояние между центрами прокладок.	

(2) Значение усилия сдвига, передаваемого прокладками, следует определять по 6.4.3.1(1).

(3) В случае применения неравнополочных уголков, см. рисунок 6.13, устойчивость относительно оси $y - y$ может быть проверена радиусом инерции сечения, равным

$$i_y = \frac{i_0}{1,15}, \tag{6.75}$$

где i_0 — минимальный радиус инерции составного элемента.

7 Пределные состояния по эксплуатационной пригодности

7.1 Общие положения

(1) Стальные конструкции следует проектировать и возводить с обеспечением требований предельных состояний по эксплуатационной пригодности.

(2) Основные требования предельных состояний по эксплуатационной пригодности приводятся в 3.4 EN 1990.

(3) Пределные состояния по эксплуатационной пригодности, соответствующие им нагрузки и расчетную модель следует устанавливать в каждом конкретном проекте.

(4) Если выполняется пластический статический расчет, то при оценке предельного состояния по эксплуатационной пригодности необходимо учитывать перераспределение сил и моментов.

7.2 Пределные состояния по эксплуатационной пригодности для зданий

7.2.1 Вертикальные прогибы

(1) В Согласно EN 1990, А.1.4 (приложение А), предельные значения вертикальных прогибов, соответствующих EN 1990, рисунок А.1.1 (приложение А), следует устанавливать для каждого конкретного проекта и согласовывать с заказчиком.

Примечание В — Пределные значения вертикальных прогибов могут быть установлены в национальном приложении.

7.2.2 Горизонтальные перемещения

(1) В Согласно EN 1990, А.1.4 (приложение А), предельные значения горизонтальных перемещений, соответствующие EN 1990, рисунок А.1.2 (приложение А), следует устанавливать для каждого конкретного проекта и согласовывать с заказчиком.

Примечание В — Пределные значения перемещений могут быть установлены в национальном приложении.

7.2.3 Динамические эффекты

(1) В Согласно EN 1990, А.1.4.4 (приложение А), вибрации конструкций, эксплуатация которых связана с хождением людей, должна быть ограничена для исключения дискомфорта. Пределные значения показателей вибрации следует устанавливать для каждого конкретного проекта и согласовывать с заказчиком.

Примечание В — Пределные значения показателей вибрации перекрытий могут быть установлены в национальном приложении.

Приложение А
(справочное)

Метод 1: Коэффициенты взаимодействия k_{ij}
в формулах взаимодействия по 6.3.3(4)

Таблица А.1 — Коэффициенты взаимодействия k_{ij} (6.3.3(4))

Коэффициенты взаимодействия	Расчетные предпосылки	
	Упругие свойства поперечного сечения класс 3, класс 4	Пластические свойства поперечного сечения класс 1, класс 2
k_{yy}	$C_{m,y} C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{m,y} C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$
k_{yz}	$C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$
k_{zy}	$C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{m,y} C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$
k_{zz}	$C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$
Вспомогательные обозначения:		
$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$ $\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$ $w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1,5$ $w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1,5$ $n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1,5$ $C_{m,y} \text{ — см. таблицу А.2}$ $a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} \geq 0$	$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_y} \cdot C_{m,y}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} \cdot C_{m,y}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}},$ <p align="center">где $b_{LT} = 0,5 a_{LT} \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}};$</p> $C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \frac{C_{m,z}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}},$ <p align="center">где $c_{LT} = 10 a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}};$</p> $C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{m,y}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}},$ <p align="center">где $d_{LT} = 2 a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} M_{pl,z,Rd}};$</p> $C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_z} C_{m,z}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_z} C_{m,z}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - e_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}},$ <p align="center">где $e_{LT} = 1,7 a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}};$</p>	

Окончание таблицы А.1

$$\bar{\lambda}_{\max} = \max \left\{ \bar{\lambda}_y; \bar{\lambda}_z \right\};$$

$\bar{\lambda}_0$ — условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба при постоянном значении изгибающего момента по длине элемента, т. е. $\psi_y = 1,0$ в таблице А.2;

$\bar{\lambda}_{LT}$ — условная гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба.

Если $\bar{\lambda}_0 \leq 0,2\sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}$: $C_{m,y} = C_{m,y,0}$,

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$

$$C_{m,LT} = 1,0;$$

если $\bar{\lambda}_0 > 0,2\sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}$: $C_{m,y} = C_{m,y,0} + (1 - C_{m,y,0}) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}$,

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} \geq 1$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}} \quad \text{— для сечений классов 1, 2 и 3;}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A_{eff}}{W_{eff,y}} \quad \text{— для сечений класса 4,}$$

где $N_{cr,y}$ — критическая сила плоской формы потери устойчивости относительно оси $y - y$ в упругой стадии;

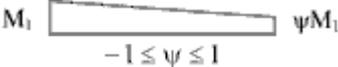
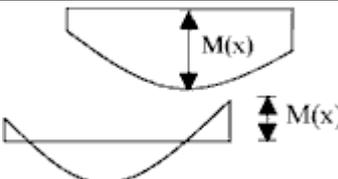
$N_{cr,z}$ — критическая сила плоской формы потери устойчивости относительно оси $z - z$ в упругой стадии;

$N_{cr,T}$ — критическая сила для крутильной формы потери устойчивости в упругой стадии;

I_T — момент инерции поперечного сечения при свободном кручении (постоянная Сен-Венана);

I_y — момент инерции сечения относительно оси $y - y$.

Таблица А.2 — Коэффициент $C_{m,i,0}$ перехода к эквивалентной прямоугольной эпюре моментов

Эпюра моментов	$C_{m,i,0}$
	$C_{m,i,0} = 0,79 + 0,21\psi_i + 0,36 \cdot (\psi_i - 0,33) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$
	$C_{m,i,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 E I_i \delta_x }{L^2 M_{i,Ed}(x) } - 1 \right) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$ <p>где $M_{i,Ed}(x)$ — максимальный момент $M_{y,Ed}$ или $M_{z,Ed}$; δ_x — максимальный прогиб элемента по его длине</p>
	$C_{m,i,0} = 1 - 0,18 \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$
	$C_{m,i,0} = 1 + 0,03 \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$

Приложение В
(справочное)

**Метод 2: Коэффициенты взаимодействия k_{ij}
в формулах взаимодействия по 6.3.3(4)**

Таблица В.1 — Коэффициенты взаимодействия k_{ij} для элементов, не чувствительных к деформациям кручения

Коэффициенты взаимодействия	Тип сечения	Расчетные предпосылки	
		Упругие свойства поперечного сечения класс 3, класс 4	Пластические свойства поперечного сечения класс 1, класс 2
k_{yy}	Двутавры прямоугольные замкнутые	$C_{m,y} \cdot \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{m,y} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{m,y} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{m,y} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	Двутавры прямоугольные замкнутые	k_{zz}	$0,6k_{zz}$
k_{zy}	Двутавры прямоугольные замкнутые	$0,8k_{yy}$	$0,6k_{yy}$
k_{zz}	Двутавры	$C_{m,z} \cdot \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{m,z} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{m,z} \cdot \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{m,z} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Прямоугольные замкнутые	$\leq C_{m,z} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{m,z} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{m,z} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
<p>Для двутавровых и прямоугольных замкнутых сечений, подверженных действию осевого сжатия и плоского изгиба $M_{y,Ed}$, коэффициент k_{zy} может быть принят равным нулю.</p>			

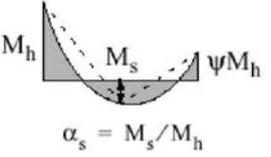
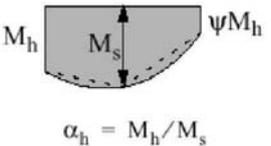
Таблица В.2 — Коэффициенты взаимодействия k_{ij} для элементов, не чувствительных к деформациям кручения

Коэффициенты взаимодействия	Расчетные предпосылки	
	Упругие свойства поперечного сечения класс 3, класс 4	Пластические свойства поперечного сечения класс 1, класс 2
k_{yy}	k_{yy} из таблицы В.1	k_{yy} из таблицы В.1
k_{yz}	k_{yz} из таблицы В.1	k_{yz} из таблицы В.1

Окончание таблицы В.2

Коэффициенты взаимодействия	Расчетные предположки	
	Упругие свойства поперечного сечения класс 3, класс 4	Пластические свойства поперечного сечения класс 1, класс 2
k_{zy}	$\left[1 - \frac{0,05\bar{\lambda}_z}{(C_{m,LT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{m,LT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$	$\left[1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{m,LT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{m,LT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ <p>для $\bar{\lambda}_z < 0,4$:</p> $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{m,LT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}}$
k_{zz}	k_{zz} из таблицы В.1	k_{zz} из таблицы В.1

Таблица В.3 — Коэффициенты C_m перехода к эквивалентной прямоугольной эпюре моментов

Эпюра моментов	Границы		$C_{m,y}, C_{m,z}$ и $C_{m,LT}$													
			Распределенная нагрузка	Сосредоточенная нагрузка												
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$													
 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$												
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$												
$-1 \leq \psi < 0$		$0,1 \cdot (1 - \psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$													
 $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$												
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$												
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h \cdot (1 + 2\psi)$	$0,90 - 0,10\alpha_h \cdot (1 + 2\psi)$												
<p>Для элементов, подверженных потере устойчивости, коэффициенты C_m следует принимать соответственно $C_{m,y} = 0,9$ или $C_{m,z} = 0,9$.</p> <p>$C_{m,y}, C_{m,z}$ и $C_{m,LT}$ следует определять в соответствии с эпюрой изгибающего момента между соответствующими точками раскрепления следующим образом:</p> <table border="0" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>коэффициент C_m</td> <td>изгиб относительно оси</td> <td>направление раскрепления</td> </tr> <tr> <td>$C_{m,y}$</td> <td>$y - y$</td> <td>$z - z$</td> </tr> <tr> <td>$C_{m,z}$</td> <td>$z - z$</td> <td>$y - y$</td> </tr> <tr> <td>$C_{m,LT}$</td> <td>$y - y$</td> <td>$y - y$</td> </tr> </table>					коэффициент C_m	изгиб относительно оси	направление раскрепления	$C_{m,y}$	$y - y$	$z - z$	$C_{m,z}$	$z - z$	$y - y$	$C_{m,LT}$	$y - y$	$y - y$
коэффициент C_m	изгиб относительно оси	направление раскрепления														
$C_{m,y}$	$y - y$	$z - z$														
$C_{m,z}$	$z - z$	$y - y$														
$C_{m,LT}$	$y - y$	$y - y$														

Приложение АВ (справочное)

Дополнительные расчетные предпосылки

АВ.1 Структурный анализ с учетом нелинейных свойств материалов

(1) Влияние нелинейных свойств материалов на распределение усилий в конструкции можно установить итерационным расчетом на соответствующие расчетные ситуации.

(2) В итерационном расчете постоянные или временные нагрузки должны прикладываться пропорционально.

АВ.2 Упрощенные предпосылки расчета неразрезных балок перекрытий

(1) Для неразрезных балок без консолей, воспринимающих преимущественно равномерно распределенные нагрузки, следует рассматривать только следующие сочетания нагрузок:

а) расчетная постоянная нагрузка ($\gamma_G G_k$) действует во всех пролетах, а расчетная временная нагрузка ($\gamma_Q Q_k$) — через пролет;

б) расчетная постоянная нагрузка ($\gamma_G G_k$) действует во всех пролетах, а расчетная временная нагрузка ($\gamma_Q Q_k$) — в любых двух смежных пролетах.

Примечание 1 — а) — определяет пролетный момент, б) — определяет момент на опоре.

Примечание 2 — Это приложение предназначено для последующего внесения в EN 1990.

Приложение ВВ (справочное)

Потеря устойчивости элементов конструкций зданий

ВВ.1 Потеря устойчивости плоской формы элементов конструкций с треугольной и раскосной решеткой

ВВ.1.1 Общие положения

(1) В Расчетную длину L_{cr} ветвей и стержней решетки из плоскости элемента можно принимать равной конструктивной длине L , см. ВВ.1.3(1)В, если меньшее значение не обосновано соответствующим расчетом.

(2) В Расчетную длину L_{cr} ветви двутаврового сечения можно принимать равной $0,9L$ в плоскости фермы и $1,0L$ из ее плоскости, если меньшее значение не обосновано соответствующим расчетом.

(3) В Расчетная длина стержней решетки в плоскости конструкции может быть принята меньше конструктивной длины, при условии, что ветви обеспечивают соответствующее их защемление на концах, а концевые соединения стержней, в свою очередь, обеспечивают соответствующее жесткое крепление (по крайней мере, два болта в болтовом соединении).

(4) В При этих условиях расчетную длину L_{cr} элементов решетки ферм в их плоскости можно принимать равной $0,9L$, за исключением элементов из одиночных уголков, см. ВВ.1.2.

ВВ.1.2 Элементы решетки из одиночных уголков

(1) В Если ветви обеспечивают соответствующее защемление концов элементов решетки, а концевые соединения стержней обеспечивают соответствующее жесткое крепление (по крайней мере, два болта в болтовом соединении), то эксцентриситетом можно пренебречь и стержни решетки рассчитываются как сжатые элементы. Эффективная условная гибкость $\bar{\lambda}_{eff}$ может быть определена следующим образом:

$$\begin{aligned}\bar{\lambda}_{eff,v} &= 0,35 + 0,7\bar{\lambda}_v && \text{— при проверке устойчивости относительно оси } v - v; \\ \bar{\lambda}_{eff,y} &= 0,50 + 0,7\bar{\lambda}_y && \text{— при проверке устойчивости относительно оси } y - y; \\ \bar{\lambda}_{eff,z} &= 0,50 + 0,7\bar{\lambda}_z && \text{— при проверке устойчивости относительно оси } z - z,\end{aligned}\quad (ВВ.1)$$

где $\bar{\lambda}$ определена в 6.3.1.2.

(2) В Если концевые соединения элементов решетки выполнены только одним болтом, следует учитывать эксцентриситет согласно 6.2.9, а расчетную длину L_{cr} следует принимать равной конструктивной длине L .

ВВ.1.3 Элементы из профилей замкнутого сечения

(1) В Расчетную длину L_{cr} ветвей из профилей замкнутого сечения можно принимать равной $0,9L$ как в плоскости, так и из плоскости фермы, где L — это конструктивная длина в соответствующей плоскости. Конструктивная длина в плоскости — это расстояние между узлами фермы. Конструктивная длина из плоскости — это расстояние между боковыми раскреплениями, если меньшее значение не обосновано соответствующим расчетом.

(2) В Расчетную длину L_{cr} элементов решетки из профилей замкнутого сечения с болтовыми соединениями можно принимать равной $1,0L$ как в плоскости, так и из плоскости фермы.

(3) В Для ферм с параллельными поясами, для которых отношение диаметров или ширин элементов решетки из профиля замкнутого сечения и поясов $\beta < 0,6$, расчетную длину L_{cr} стержня решетки без подрезки или сплющивания его торцов, приваренных по периметру к поясам из профиля замкнутого сечения, в общем случае можно принимать равной $0,75L$ как в плоскости, так и из плоскости фермы, если меньшее значение не обосновано соответствующим расчетом.

Примечание — Национальное приложение может дать дополнительную информацию по расчетной длине.

ВВ.2 Сплошные раскрепления

ВВ.2.1 Сплошные раскрепления от бокового смещения

(1)В Если профилированный настил (с трапецидальными гофрами) в соответствии с EN 1993-1-3 соединен со сжатой полкой балки и выполняется условие формулы (ВВ.2), то балку можно рассматривать как раскрепленную от бокового смещения в плоскости настила.

$$S \geq \left(EI_w \cdot \frac{\pi^2}{L^2} + GI_t + EI_z \cdot \frac{\pi^2}{L^2} 0,25h^2 \right) \frac{70}{h^2}, \tag{ВВ.2}$$

где S — сдвиговая жесткость (на единицу длины балки), обеспеченная креплением профилированного настила к балке в каждой волне, при деформации балки в плоскости настила;

I_w — секториальный момент инерции поперечного сечения;

I_t — момент инерции поперечного сечения при свободном кручении;

I_z — момент инерции поперечного сечения относительно второстепенной оси поперечного сечения;

L — длина балки;

h — высота балки.

Если профилированный настил прикреплен к балке через волну, сдвиговую жесткость следует принимать равной $0,20S$.

Примечание — Формулу (ВВ.2) можно также использовать для определения поперечной устойчивости полок балки, соединенных с другими типами настила, а не только с трапецидальным профилированным настилом, при условии, что их соединения обоснованы соответственным расчетом.

ВВ.2.2 Сплошные раскрепления от кручения

(1)В Балка может рассматриваться как достаточно раскрепленная от кручения, если

$$C_{\vartheta,k} > \frac{M_{pl,k}^2}{EI_z} \cdot K_{\vartheta} K_{\nu}, \tag{ВВ.3}$$

где $C_{\vartheta,k}$ — крутильная жесткость (на единицу длины балки), при непрерывном раскреплении сплошной средой (например, диском покрытия) или связями;

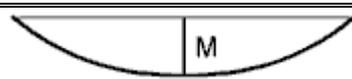
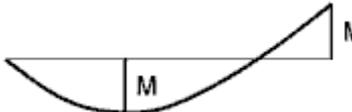
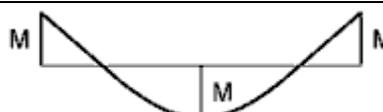
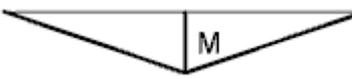
$K_{\nu} = 0,35$ — для упругого расчета;

$K_{\nu} = 1,00$ — для пластического расчета;

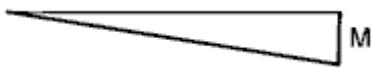
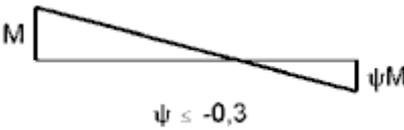
K_{ϑ} — коэффициент, учитывающий распределение моментов, таблица ВВ.1, и тип опорных закреплений;

$M_{pl,k}$ — нормативное значение пластического момента балки.

Таблица ВВ.1 — Коэффициент K_{ϑ} , учитывающий распределение моментов и тип опорных закреплений

Случай	Эпюра моментов	Не закрепленные от смещения	Закрепленные от смещения
1		4,0	0
2a		3,5	0,12
2б			0,23
3		2,8	0

Окончание таблицы ВВ.1

Случай	Эпюра моментов	Не закрепленные от смещения	Закрепленные от смещения
4		1,6	1,0
5		1,0	0,7

(2)В Крутильную жесткость, обеспеченную устойчивой сплошной конструкцией, можно определить по формуле

$$\frac{1}{C_{\vartheta,k}} > \frac{1}{C_{\vartheta,R,k}} + \frac{1}{C_{\vartheta,C,k}} + \frac{1}{C_{\vartheta,D,k}}, \quad (ВВ.4)$$

где $C_{\vartheta,R,k}$ — крутильная жесткость (на единицу длины балки), обеспеченная устойчивой сплошной конструкцией, жестко соединенной с балкой;

$C_{\vartheta,C,k}$ — крутильная жесткость (на единицу длины балки) объединительных деталей между балкой и устойчивой сплошной конструкцией;

$C_{\vartheta,D,k}$ — крутильная жесткость (на единицу длины балки), обусловленная деформациями искривления поперечного сечения балки, в которой сжатая полка балки свободна; если сжатая полка закреплена или деформациями искривления поперечного сечения можно пренебречь (например, для прокатных профилей), $C_{\vartheta,D,k} = \infty$.

Примечание — Дополнительную информацию см. EN 1993-1-3.

ВВ.3 Устойчивая длина из плоскости участков с пластическими шарнирами

ВВ.3.1 Элементы постоянного сечения из прокатных или эквивалентных им сварных профилей

ВВ.3.1.1 Устойчивая длина между смежными точками бокового раскрепления

(1)В Учитывать потерю устойчивости плоской формы изгиба не следует, если длина L участка элемента между раскрепленным сечением пластического шарнира и смежным сечением, раскрепленным от бокового смещения, меньше L_m :

$$L_m = \frac{38j_z}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \cdot \left(\frac{N_{Ed}}{A}\right) + \frac{1}{756C_1} \cdot \left(\frac{W_{pl,y}^2}{A I_t}\right) \cdot \left(\frac{f_y}{235}\right)^2}}, \quad (ВВ.5)$$

где N_{Ed} — расчетное значение сжимающего усилия в элементе, Н;

A — площадь поперечного сечения элемента, мм²;

$W_{pl,y}$ — пластический момент сопротивления сечения элемента;

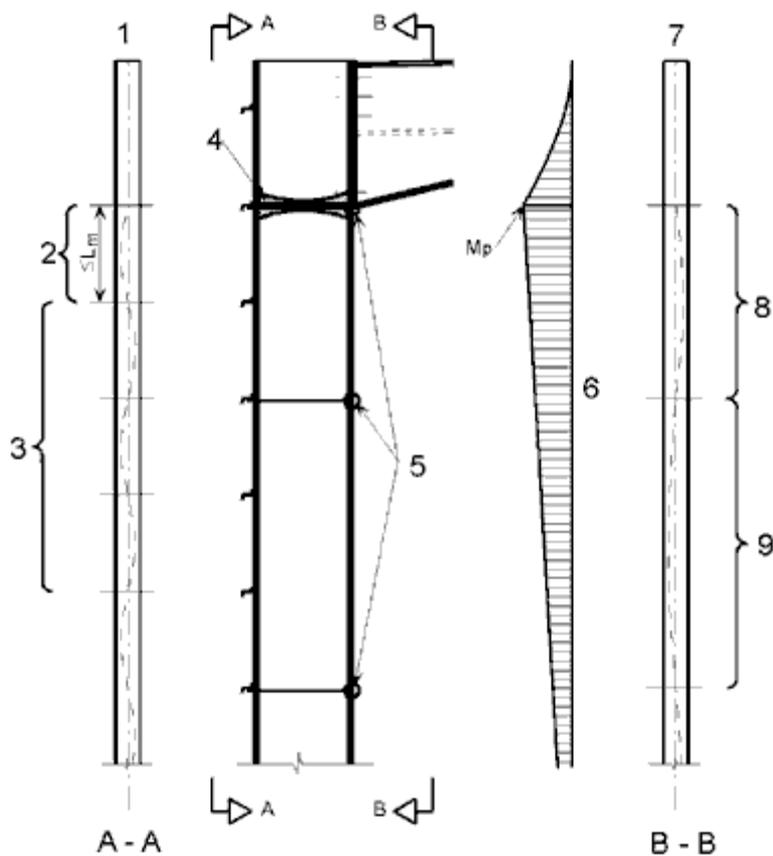
I_t — момент инерции поперечного сечения при свободном кручении;

f_y — предел текучести, Н/мм²;

C_1 — коэффициент, учитывающий распределение моментов и зависящий от нагрузки и условия опирания, принимаемый по справочной литературе при условии, что элемент раскреплен в пластическом шарнире согласно 6.3.5, и в конце участка раскреплен:

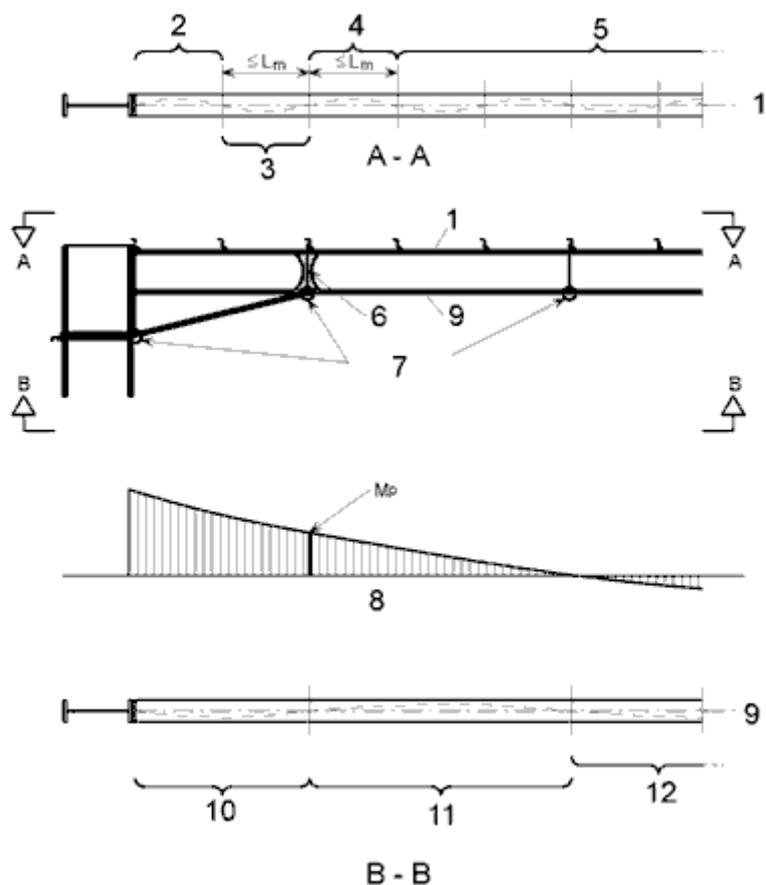
- от бокового смещения сжатой полки, где одна из полок сжата по всей длине участка;
- или от кручения;
- или от бокового смещения концов участка и от кручения элемента на расстоянии, удовлетворяющем требованиям для L_s , рисунки ВВ.1, ВВ.2 и ВВ.3.

Примечание — Вообще $L_s > L_m$.



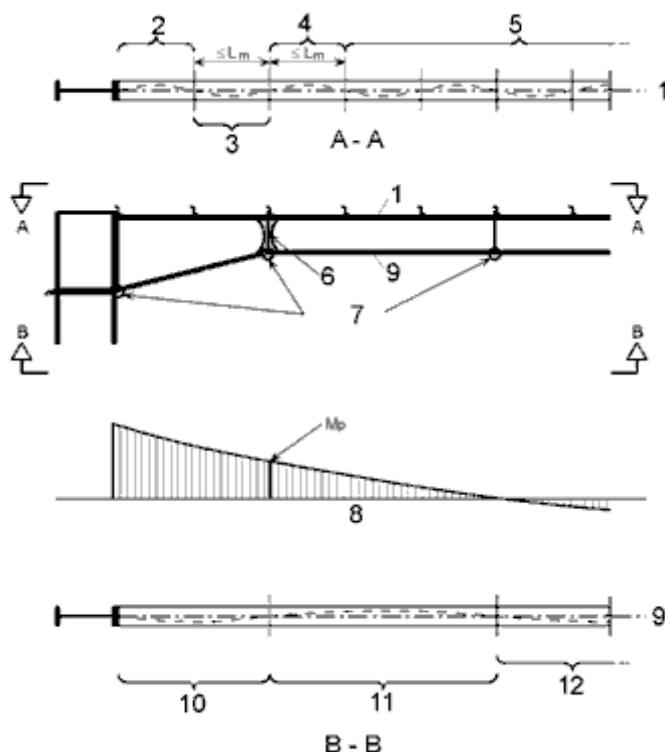
- 1 — растянутая полка; 2 — устойчивая длина участка с пластическим шарниром (см. ВВ.3.1.1);
 3 — упругая зона (см. 6.3); 4 — пластический шарнир; 5 — раскрепление;
 6 — эпюра изгибающих моментов; 7 — сжатая полка;
 8 — пластическая зона с раскрепленным растянутым поясом, устойчивая длина равна L_s
 (см. ВВ.3.1.2, формулу (ВВ.7) или (ВВ.8));
 9 — упругая зона с закрепленной растянутой полкой (см. 6.3)
 χ и χ_{LT} из формул для определения N_{cr} и M_{cr} с учетом раскрепления растянутой полки

Рисунок ВВ.1 — К проверке элементов без вутов



- 1 — растянутая полка; 2 — упругая зона (см. 6.3);
 3 — устойчивая длина участка с пластическим шарниром (см ВВ.3.2.1) или без него (см. 6.3.5.3(2)В);
 4 — устойчивая длина участка с пластическим шарниром (см ВВ.3.1.1);
 5 — упругая зона (см. 6.3); 6 — пластический шарнир; 7 — раскрепление;
 8 — эпюра изгибающих моментов; 9 — сжатая полка;
 10 — устойчивая длина участка с пластическим шарниром (см. ВВ.3.2) или без него (см. 6.3.5.3(2)В);
 11 — устойчивая длина участка с пластическим шарниром (см. ВВ.3.1.2); 12 — упругая зона (см. 6.3)
 χ и χ_{LT} из формул для определения N_{cr} и M_{cr} с учетом раскрепления растянутой полки

Рисунок ВВ.2 — К проверке элемента с трехпоясным вутром



- 1 — растянутая полка; 2 — упругая зона (см. 6.3);
 3 — устойчивая длина участка с пластическим шарниром (см. ВВ.3.2.1);
 4 — устойчивая длина участка с пластическим шарниром (см. ВВ.3.1.1);
 5 — упругая зона (см. 6.3); 6 — пластический шарнир; 7 — раскрепление;
 8 — эпюра изгибающих моментов; 9 — сжатая полка;
 10 — устойчивая длина участка с пластическим шарниром (см. ВВ.3.2);
 11 — устойчивая длина участка с пластическим шарниром (см. ВВ.3.1.2); 12 — упругая зона (см. 6.3)
 χ и χ_{LT} из формул для определения N_{cr} и M_{cr} с учетом закрепления растянутой полки

Рисунок ВВ.3 — К проверке элемента с двухпоясным вутом

ВВ.3.1.2 Устойчивая длина между раскреплениями от кручения

(1) Устойчивость плоской формы изгиба элемента, подверженного действию постоянного момента, обеспечена, если длина L участка элемента между раскрепленным сечением пластического шарнира и смежным раскреплением от кручения меньше L_k и соблюдаются следующие условия:

— элемент раскреплен в пластическом шарнире согласно 6.3.5;

— имеется одно или более промежуточных раскреплений от бокового смещения, расположенных на участке между раскреплениями от кручения на расстоянии, удовлетворяющем требованиям для L_m , см. ВВ.3.1.1, где

$$L_k = \frac{\left(5,4 + \frac{600f_y}{E}\right) \cdot \left(\frac{h}{t_f}\right) i_z}{\sqrt{5,4 \cdot \left(\frac{f_y}{E}\right) \cdot \left(\frac{h}{t_f}\right)^2 - 1}} \tag{ВВ.6}$$

(2) Устойчивость плоской формы изгиба элемента, подверженного действию линейно изменяющегося момента и осевого сжатия, обеспечена, если длина L участка элемента между раскрепленным сечением пластического шарнира и смежным раскреплением от кручения меньше L_s и соблюдаются следующие условия:

— элемент раскреплен в пластическом шарнире согласно 6.3.5;

— имеется одно или более промежуточных раскреплений от бокового смещения, расположенных на участке между раскреплениями от кручения на расстоянии, удовлетворяющем требованиям для L_m , см. ВВ.3.1.1,

$$L_s = \sqrt{C_m} \cdot L_k \cdot \left(\frac{M_{pl,y,Rk}}{M_{N,y,Rk} + aN_{Ed}} \right), \quad (BB.7)$$

- где C_m — поправочный коэффициент для линейно изменяющегося момента, см. ВВ.3.3.1;
 a — расстояние между центром тяжести сечения элемента с пластическим шарниром и центром тяжести сечения элемента раскрепления;
 $M_{pl,y,Rk}$ — нормативное значение изгибающего момента по несущей способности поперечного сечения в пластической стадии относительно оси $y - y$;
 $M_{N,y,Rk}$ — нормативное значение изгибающего момента по несущей способности поперечного сечения в пластической стадии относительно оси $y - y$, уменьшенное из-за действия осевой силы N_{Ed} .

(3) В Устойчивость плоской формы изгиба элемента, подверженного действию нелинейно изменяющегося момента и осевого сжатия, обеспечена, если длина L участка элемента между раскрепленным сечением пластического шарнира и смежным раскреплением от кручения меньше L_s и соблюдаются следующие условия:

- элемент раскреплен в пластическом шарнире согласно 6.3.5;
- имеется одно или более промежуточных раскреплений от бокового смещения, расположенных на участке между раскреплениями от кручения на расстоянии, удовлетворяющем требованиям для L_m , см. ВВ.3.1.1,

$$L_s = \sqrt{C_n} \cdot L_k, \quad (BB.8)$$

где C_n — поправочный коэффициент для нелинейно изменяющегося момента, см. ВВ.3.3.2, см. рисунки ВВ.1, ВВ.2 и ВВ.3.

ВВ.3.2 Вуты или элементы переменной высоты, выполненные из прокатных или эквивалентных сварных двутавровых профилей

ВВ.3.2.1 Устойчивая длина между смежными точками бокового раскрепления

(1) В Устойчивость плоской формы изгиба элемента обеспечена, если длина L участка элемента между раскрепленным сечением пластического шарнира и смежным раскреплением от бокового смещения меньше L_m :

- для трехпоясных вут (см. рисунок ВВ.2)

$$L_m = \frac{38j_z}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \cdot \left(\frac{N_{Ed}}{A} \right) + \frac{1}{756C_1^2} \cdot \left(\frac{W_{pl,y}^2}{A I_t} \right) \cdot \left(\frac{f_y}{235} \right)^2}}; \quad (BB.9)$$

- для двухпоясных вут (см. рисунок ВВ.3)

$$L_m = 0,85 \cdot \frac{38j_z}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \cdot \left(\frac{N_{Ed}}{A} \right) + \frac{1}{756C_1^2} \cdot \left(\frac{W_{pl,y}^2}{A I_t} \right) \cdot \left(\frac{f_y}{235} \right)^2}}, \quad (BB.10)$$

где N_{Ed} — расчетное значение сжимающего усилия в элементе, Н;

$\frac{W_{pl,y}^2}{A I_t}$ — максимальное значение на участке;

A — площадь поперечного сечения в месте, где величина $\frac{W_{pl,y}^2}{A I_t}$ принимает максимальное значение в элементе переменной высоты, мм²;

$W_{pl,y}$ — пластический момент сопротивления сечения элемента;

I_t — момент инерции поперечного сечения элемента при свободном кручении;

f_y — предел текучести, Н/мм²;

- i_z — минимальное значение радиуса инерции сечения элемента при условии, что элемент раскреплен в пластическом шарнире согласно 6.3.5 и в конце участка раскреплен:
- от бокового смещения сжатой полки, где одна из полок сжата по всей длине участка,
 - или от кручения,
 - или от бокового смещения концов участка и от кручения элемента на расстоянии, удовлетворяющем требованиям для L_s .

ВВ.3.2.2 Устойчивая длина между раскреплениями от кручения

(1) В Устойчивость плоской формы изгиба элемента переменной высоты с полками постоянного сечения обеспечена, если длина L участка элемента, подверженного осевому сжатию и изгибу с линейно или нелинейно изменяющимся моментом, между раскрепленным сечением пластического шарнира и смежным раскреплением от кручения меньше L_s и соблюдаются следующие условия:

- элемент раскреплен в пластическом шарнире согласно 6.3.5;
- имеется одно или более промежуточных раскреплений от бокового смещения, расположенных на участке между раскреплениями от кручения на расстоянии, удовлетворяющем требованиям для L_m , см. ВВ.3.2.1:

- для трехпоясных вутов (см. рисунок ВВ.2):

$$L_s = \frac{\sqrt{C_n} \cdot L_k}{c}; \quad (\text{ВВ.11})$$

- для двухпоясных вутов (см. рисунок ВВ.3):

$$L_s = 0,85 \cdot \frac{\sqrt{C_n} \cdot L_k}{c}, \quad (\text{ВВ.12})$$

где L_k — устойчивая длина, определенная для элемента с постоянным поперечным сечением, равным минимальному сечению элемента переменной высоты, см. ВВ.3.1.2;

C_n — см. ВВ.3.3.2;

c — коэффициент сужения, определенный в ВВ.3.3.3.

ВВ.3.3 Поправочные коэффициенты для переменного момента в элементах, раскрепленных от бокового смещения в растянутой полке

ВВ.3.3.1 Линейное изменение момента

(1) В Поправочный коэффициент C_m можно определить по формуле

$$C_m = \frac{1}{B_0 + B_1 \beta_t + B_2 \beta_t^2}, \quad (\text{ВВ.13})$$

где $B_0 = \frac{1 + 10\eta}{1 + 20\eta}$;

$$B_1 = \frac{5\sqrt{\eta}}{\pi + 10\sqrt{\eta}};$$

$$B_2 = \frac{0,5}{1 + \pi\sqrt{\eta}} - \frac{0,5}{1 + 20\eta},$$

здесь $\eta = \frac{N_{cr,E}}{N_{cr,T}}$;

$$N_{cr,E} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_t^2};$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \cdot \left(\frac{\pi^2 EI_z a^2}{L_t^2} + \frac{\pi^2 EI_w}{L_t^2} + GI_t \right) \text{ — критическая сила крутильной формы потери}$$

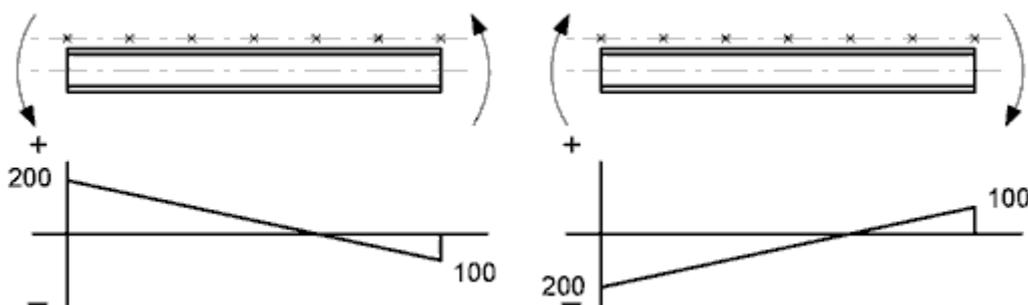
устойчивости в упругой стадии для двутавровых профилей, с раскреплением обеих полок от бокового смещения и от кручения на расстоянии L_t и промежуточным раскреплением от бокового смещения растянутой полки на этом участке;

L_t — расстояние между раскреплением от кручения;

$$i_s^2 = i_y^2 + i_z^2 + a^2,$$

здесь a — расстояние между центром тяжести сечения раскрепляемого элемента и центром тяжести сечения элемента раскрепления, такого как прогон покрытия;

β_t — отношение алгебраически меньшего конечного момента к большему конечному моменту. Моменты, которые вызывают сжатие в нераскрепленной полке, следует принимать положительными. Если $\beta_t > -1,0$, то значение β_t следует принимать равным $-1,0$, рисунок ВВ.4.



$$\beta_t = \frac{-100}{+200} = -0,5$$

$$\beta_t = \frac{-200}{+100} = -2$$

Если $\beta_t > -1,0$, тогда принимается $\beta_t = -1,0$

Рисунок ВВ.4 — Значение β_t

ВВ.3.3.2 Нелинейное распределение момента

(1)В Поправочный коэффициент C_n можно определить по формуле

$$C_n = \frac{12}{\left[R_1 + 3R_2 + 4R_3 + 3R_4 + R_5 + 2 \cdot (R_S - R_E) \right]}, \quad (\text{ВВ.14})$$

где R_1, \dots, R_5 — значения R согласно (2)В в конечных точках, в четвертях и середине пролета, рисунок ВВ.5, следует учитывать только положительные значения R .

Дополнительно учитываются только положительные значения $(R_S - R_E)$, где:

- R_E больше R_1 или R_5 ;
- R_S — максимальное значение R по всей длине L_y .

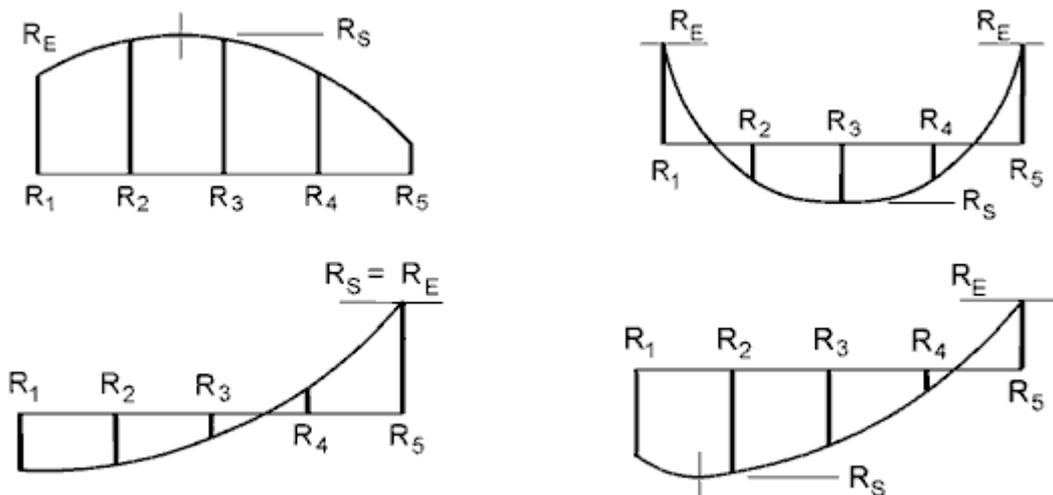


Рисунок ВВ.5 — Распределение моментов

(2)В Значение R следует определять по формуле

$$R = \frac{M_{y,Ed} + aN_{Ed}}{f_y W_{pl,y}}, \quad (BB.15)$$

где a — расстояние между центром тяжести сечения элемента и центром тяжести сечения элемента раскрепления, такого как прогон покрытия.

BB.3.3.3 Коэффициент сужения

(1)В Для элементов переменной высоты и полками постоянного сечения, для которых $h \geq 1,2b$ и $h/t_f \geq 20$, коэффициент сужения c следует определять:

— для элементов или участков переменной высоты, рисунок BB.6а)

$$c = 1 + \frac{3}{\left(\frac{h}{t_f} - 9\right)} \cdot \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1\right)^{2/3}, \quad (BB.16)$$

где h_{\max} — максимальная высота поперечного сечения в пределах длины L_y , см. рисунок BB.6;

h_{\min} — минимальная высота поперечного сечения в пределах длины L_y , см. рисунок BB.6;

— для вутовых элементов или участков, рисунки BB.6б) и BB.6в)

$$c = 1 + \frac{3}{\left(\frac{h}{t_f} - 9\right)} \cdot \left(\frac{h_h}{h_s}\right)^{2/3} \cdot \sqrt{\frac{L_h}{L_y}}, \quad (BB.17)$$

где h_h — дополнительная высота вута или сужения, см. рисунок BB.6;

h_s — вертикальная высота части сечения вута, см. рисунок BB.6;

L_h — длина вута в пределах длины L_y , см. рисунок BB.6;

L_y — расстояние между точками раскрепления сжатой полки от бокового смещения.

(h/t_f) принимается по наименьшему сечению.

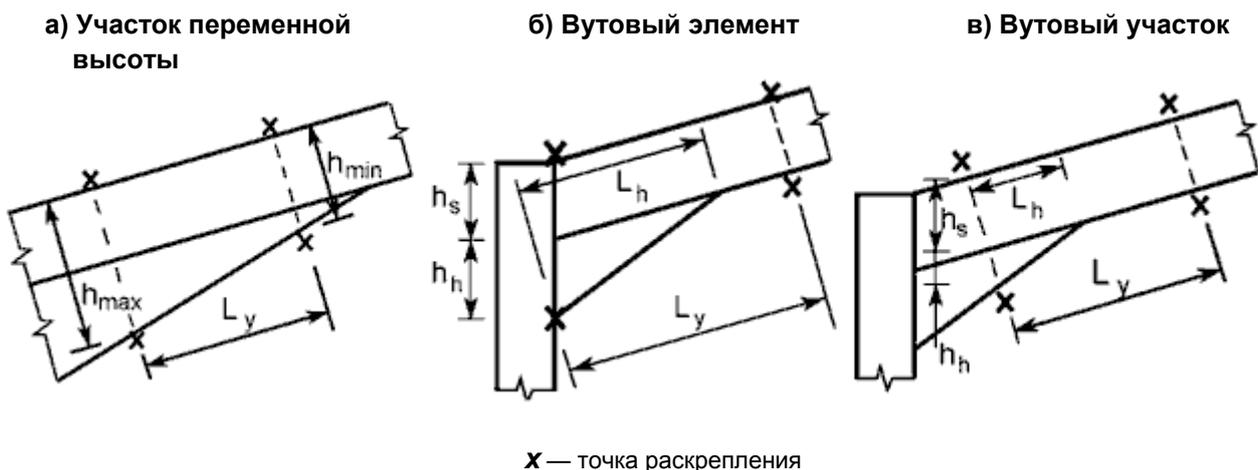


Рисунок BB.6 — Размеры, определяющие коэффициент сужения

Приложение Д.А
(справочное)

**Сведения о соответствии европейских стандартов,
на которые даны ссылки, государственным стандартам,
принятым в качестве идентичных государственных стандартов**

Таблица Д.А.1

Обозначение и наименование европейского стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование государственного стандарта
EN 1990 Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций	IDT	СТБ EN 1990-2007 Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций
EN 1991 Еврокод 1. Воздействия на конструкции	IDT	ТКП EN 1991 Еврокод 1. Воздействия на конструкции
EN 1993-1-3:2004 Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и листов	IDT	ТКП EN 1993-1-3-2009 Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и листов

**Национальное приложение
к ТКП EN 1993-1-1-2009
Еврокод 3
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий**

National Annex
to TCP EN 1993-1-1-2009
Eurocode 3
Design of steel structures
Part 1-1. General rules and rules for buildings

Предисловие

Preface

(1) Настоящее национальное приложение следует применять совместно с техническим кодексом установившейся практики ТКП EN 1993-1-1-2009.

This National Annex is intended to be used in conjunction with technical code founded on practical experience TCP EN 1993-1-1-2009.

(2) Настоящее национальное приложение содержит параметры и рекомендации для следующих пунктов EN 1993-1-1, на которые распространяется возможность выбора на национальном уровне:

- 2.3.1(1);
- 3.1(2);
- 3.2.1(1);
- 3.2.2(1);
- 3.2.3(1);
- 3.2.3(3)B;
- 3.2.4(1);
- 5.2.1(3);
- 5.2.2(8);
- 5.3.2(3);
- 5.3.2(11);
- 5.3.4(3);
- 6.1(1);
- 6.1(1)B;
- 6.3.2.2(2);
- 6.3.2.3(1);
- 6.3.2.3(2);
- 6.3.2.4(1)B;
- 6.3.2.4(2)B;
- 6.3.3(5);
- 6.3.4(1);
- 7.2.1(1)B;
- 7.2.2(1)B;
- 7.2.3(1)B;
- BB.1.3(3)B.

This National Annex gives values and recommendations for the following clauses of EN 1993-1-1 where national choice is allowed:

- 2.3.1(1);
- 3.1(2);
- 3.2.1(1);

- 3.2.2(1);
- 3.2.3(1);
- 3.2.3(3)B;
- 3.2.4(1);
- 5.2.1(3);
- 5.2.2(8);
- 5.3.2(3);
- 5.3.2(11);
- 5.3.4(3);
- 6.1(1);
- 6.1(1)B;
- 6.3.2.2(2);
- 6.3.2.3(1);
- 6.3.2.3(2);
- 6.3.2.4(1)B;
- 6.3.2.4(2)B;
- 6.3.3(5);
- 6.3.4(1);
- 7.2.1(1)B;
- 7.2.2(1)B;
- 7.2.3(1)B;
- ВВ.1.3(3)В.

Нормативные ссылки

Normative references

В настоящем национальном приложении использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (далее — ТНПА):

СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология

ГОСТ 8731-74 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Технические требования

ГОСТ 10705-80 Трубы стальные электросварные. Технические условия

ГОСТ 10706-76 Трубы стальные электросварные прямошовные. Технические требования

ГОСТ 27751-88 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету

ГОСТ 27772 Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия

ГОСТ 28870-90 Сталь. Методы испытаний на растяжение толстолистового проката в направлении толщины.

This National Annex contains references to the following technical normative legal acts (TNLA):

SNB 2.04.02-2000 Building climatology

GOST 8731-74 Seamless hot-deformed steel pipes. Specifications

GOST 10705-80 Electrically welded steel tubes. Specifications

GOST 10706-76 Electrically welded steel line-weld tubes. Technical requirements

GOST 27751-88 Reliability of constructions and foundations. Principal rules of the calculations

GOST 27772-88 Structural steel structure rolled products. General specifications

GOST 28870-90 Steel. Methods of tensile tests of rolled thick-plates in thickness direction.

Национальные требования и национально устанавливаемые параметры, которые следует использовать при проектировании стальных конструкций зданий и сооружений гражданского назначения, возводимых на территории Республики Беларусь

National requirements and Nationally Determined Parameters to be used for the design of buildings and civil engineering works in steel to be constructed in the Republic of Belarus

<p>Пункт EN 1993-1-1 Clause of EN 1993-1-1</p>	<p>Национально устанавливаемые параметры Nationally Determined Parameters (NDP)</p>																																		
<p>2.3.1(1)</p>	<p>Значения воздействий при проектировании стальных конструкций следует принимать по ТКП EN 1991. Сочетания воздействий и значения частных коэффициентов безопасности следует принимать по национальному приложению к СТБ EN 1990. Actions for the design of steel structures should be taken from TCP EN 1991. For the combination of actions and partial factors of actions should be taken from National Annex to STB EN 1990</p>																																		
<p>3.1(2)</p>	<p>ТКП EN 1993-1-1 распространяется также на проектирование конструкций, изготовленных из сталей, приведенных в таблицах НП.1 и НП.2. Указания по назначению класса прочности (марки) и категории стали приведены в ТНПА на проектирование стальных конструкций. TCP EN 1993-1-1 covers also the design of steel structures from steel conforming to the steel grades listed in Tables NA.1 and NA.2. For selecting steels for members see TNLA for the design of steel structures.</p> <p>Таблица НП.1 — Номинальные значения предела текучести f_y и временного сопротивления f_u стали при растяжении, сжатии и изгибе листового, широкополочного универсального и фасонного проката</p> <p>Table NA.1 — Nominal values of yield strength f_y and ultimate tensile strength f_u for structural steel in tension, compression and bending</p> <table border="1" data-bbox="343 1198 1444 2083"> <thead> <tr> <th data-bbox="343 1198 606 1355">Стандарт и класс прочности стали Standard and steel grade</th> <th data-bbox="606 1198 1133 1355">Номинальная толщина проката*, мм Nominal thickness of the element*, mm</th> <th data-bbox="1133 1198 1284 1355">f_y^{**}, Н/мм² f_y^{**}, N/mm²</th> <th data-bbox="1284 1198 1444 1355">f_u^{**}, Н/мм² f_u^{**}, N/mm²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="343 1355 606 1489">ГОСТ 27772 GOST 27772 C235</td> <td data-bbox="606 1355 1133 1489">$2 \leq t \leq 8$</td> <td data-bbox="1133 1355 1284 1489">235</td> <td data-bbox="1284 1355 1444 1489">360</td> </tr> <tr> <td data-bbox="343 1489 606 1579">C245</td> <td data-bbox="606 1489 1133 1579">$2 \leq t \leq 20$ $20 < t \leq 30$</td> <td data-bbox="1133 1489 1284 1579">245 235</td> <td data-bbox="1284 1489 1444 1579">370 370</td> </tr> <tr> <td data-bbox="343 1579 606 1668">C255</td> <td data-bbox="606 1579 1133 1668">$2 \leq t \leq 20$ $20 < t \leq 40$</td> <td data-bbox="1133 1579 1284 1668">245 235</td> <td data-bbox="1284 1579 1444 1668">370 370</td> </tr> <tr> <td data-bbox="343 1668 606 1758">C285</td> <td data-bbox="606 1668 1133 1758">$2 \leq t \leq 10$ $10 < t \leq 20$</td> <td data-bbox="1133 1668 1284 1758">275 265</td> <td data-bbox="1284 1668 1444 1758">390 380</td> </tr> <tr> <td data-bbox="343 1758 606 1948">C345</td> <td data-bbox="606 1758 1133 1948">$2 \leq t \leq 20$ $20 < t \leq 40$ $40 < t \leq 60$ $60 < t \leq 80$ $80 < t \leq 100$</td> <td data-bbox="1133 1758 1284 1948">325 305 285 275 265</td> <td data-bbox="1284 1758 1444 1948">470 460 450 440 430</td> </tr> <tr> <td data-bbox="343 1948 606 2004">C345K</td> <td data-bbox="606 1948 1133 2004">$4 \leq t \leq 10$</td> <td data-bbox="1133 1948 1284 2004">345</td> <td data-bbox="1284 1948 1444 2004">470</td> </tr> <tr> <td data-bbox="343 2004 606 2083">C375</td> <td data-bbox="606 2004 1133 2083">$2 \leq t \leq 20$ $20 < t \leq 40$</td> <td data-bbox="1133 2004 1284 2083">355 335</td> <td data-bbox="1284 2004 1444 2083">490 480</td> </tr> </tbody> </table>			Стандарт и класс прочности стали Standard and steel grade	Номинальная толщина проката*, мм Nominal thickness of the element*, mm	f_y^{**} , Н/мм ² f_y^{**} , N/mm ²	f_u^{**} , Н/мм ² f_u^{**} , N/mm ²	ГОСТ 27772 GOST 27772 C235	$2 \leq t \leq 8$	235	360	C245	$2 \leq t \leq 20$ $20 < t \leq 30$	245 235	370 370	C255	$2 \leq t \leq 20$ $20 < t \leq 40$	245 235	370 370	C285	$2 \leq t \leq 10$ $10 < t \leq 20$	275 265	390 380	C345	$2 \leq t \leq 20$ $20 < t \leq 40$ $40 < t \leq 60$ $60 < t \leq 80$ $80 < t \leq 100$	325 305 285 275 265	470 460 450 440 430	C345K	$4 \leq t \leq 10$	345	470	C375	$2 \leq t \leq 20$ $20 < t \leq 40$	355 335	490 480
Стандарт и класс прочности стали Standard and steel grade	Номинальная толщина проката*, мм Nominal thickness of the element*, mm	f_y^{**} , Н/мм ² f_y^{**} , N/mm ²	f_u^{**} , Н/мм ² f_u^{**} , N/mm ²																																
ГОСТ 27772 GOST 27772 C235	$2 \leq t \leq 8$	235	360																																
C245	$2 \leq t \leq 20$ $20 < t \leq 30$	245 235	370 370																																
C255	$2 \leq t \leq 20$ $20 < t \leq 40$	245 235	370 370																																
C285	$2 \leq t \leq 10$ $10 < t \leq 20$	275 265	390 380																																
C345	$2 \leq t \leq 20$ $20 < t \leq 40$ $40 < t \leq 60$ $60 < t \leq 80$ $80 < t \leq 100$	325 305 285 275 265	470 460 450 440 430																																
C345K	$4 \leq t \leq 10$	345	470																																
C375	$2 \leq t \leq 20$ $20 < t \leq 40$	355 335	490 480																																

Продолжение таблицы

Пункт EN 1993-1-1 Clause of EN 1993-1-1	Национально устанавливаемые параметры Nationally Determined Parameters (NDP)			
Окончание таблицы НП.1				
Стандарт и класс прочности стали Standard and steel grade	Номинальная толщина проката*, мм Nominal thickness of the element*, mm	f_y^{**} , Н/мм ² f_y^{**} , N/mm ²	f_u^{**} , Н/мм ² f_u^{**} , N/mm ²	
С390	$4 \leq t \leq 50$	390	540	
С440	$4 \leq t \leq 30$	440	590	
	$30 < t \leq 50$	410	570	
<p>* За толщину фасонного проката следует принимать толщину полки. * The thickness of the element should be taken as the thickness of its flange.</p> <p>** За номинальные значения приняты гарантированные значения предела текучести и временного сопротивления стали. ** The nominal values of yield strength and ultimate tensile strength should be taken as the guaranteed values.</p>				
<p><i>Примечание</i> — Прокат толщиной $t \geq 25$ мм элементов сварных конструкций, работающих на растяжение в направлении толщины, и остальной прокат толщиной $t > 40$ мм должны удовлетворять требованиям ГОСТ 28870 и ТНПА на проектирование стальных конструкций. <i>Note</i> — The plate thicknesses $t \geq 25$ mm for welded elements with tension in the through-thickness direction and other plate thicknesses $t > 40$ mm should satisfy the requirements specified in GOST 28870 and TNLA for the design of steel structures.</p>				
<p>Таблица НП.2 — Номинальные значения предела текучести f_y и временного сопротивления f_u стали при растяжении, сжатии и изгибе круглых труб Table NA.2 — Nominal values of yield strength f_y and ultimate tensile strength f_u for CHS in tension, compression and bending</p>				
Стандарт и марка стали Standard and steel grade	Номинальная толщина проката, мм Nominal thickness of the element, mm	f_y^* , Н/мм ² f_y^* , N/mm ²	f_u^* , Н/мм ² f_u^* , N/mm ²	
ГОСТ 10705 GOST 10705 Ст3кп, С3пс, С3сп	$t \leq 10$	225	370	
ГОСТ 10706 GOST 10706 Ст3пс4, Ст3сп4	$4 \leq t \leq 15$	245	370	
ГОСТ 8731 GOST 8731 20	$4 \leq t \leq 36$	245	410	
<p>* За номинальные значения приняты гарантированные значения предела текучести и временного сопротивления стали, установленные в стандартах на прокат. * The nominal values of yield strength and ultimate tensile strength should be taken as the guaranteed values.</p>				

Продолжение таблицы

Пункт EN 1993-1-1 Clause of EN 1993-1-1	Национально устанавливаемые параметры Nationally Determined Parameters (NDP)										
3.2.1(1)	<p>Номинальные значения предела текучести f_y и временного сопротивления f_u стали следует принимать по таблицам НП.1 и НП.2.</p> <p>The nominal values of yield strength f_y and ultimate tensile strength f_u for structural steel should be taken from Tables NA.1 and NA.2</p>										
3.2.2(1)	<p>Предельные значения отношения временного сопротивления к пределу текучести, относительного удлинения при разрыве и относительной деформации стали должны соответствовать следующим требованиям:</p> <ul style="list-style-type: none"> — $f_u/f_y > 1,3$; — относительное удлинение при разрыве — не менее 15 %; — $\varepsilon_u > 15\varepsilon_y$, где упругая деформация $\varepsilon_y = f_y/E$. <p>The limiting values of the ratio f_u/f_y, the elongation at failure and the ultimate strain ε_y should satisfy:</p> <ul style="list-style-type: none"> — $f_u/f_y > 1,3$; — elongation at failure not less than 15 %; — $\varepsilon_u > 15\varepsilon_y$, where ε_y is the yield strain ($\varepsilon_y = f_y/E$) 										
3.2.3(1)	<p>За расчетную температуру наружного воздуха принимается температура воздуха наиболее холодных суток с обеспеченностью 0,98, определяемая по СНБ 2.04.02.</p> <p>The lowest service temperature to be adopted in design should be taken as temperature of air of the coldest day with security 0,98, see SNB 2.04.02-2000</p>										
3.2.3(3)В	<p>Принято рекомендуемое значение ударной вязкости стали для элементов, работающих на сжатие.</p> <p>Recommended value of the minimum toughness properties for members in compression is accepted</p>										
3.2.4(1)В	<p>Распределение заданных значений Z_{Ed} по 3.2(2) EN 1993-1-10 и требуемые значения Z_{Ed} приведены в таблице НП.3.</p> <p>The relevant allocation of target values Z_{Ed} according to 3.2(2) of EN 1993-1-10 and required values of Z_{Rd} are given in Table NA.3.</p> <p>Таблица НП.3 — Выбор группы качества по ГОСТ 28870 Table NA.3 — Choice of quality class according to GOST 28870</p> <table border="1" data-bbox="344 1496 1436 1848"> <thead> <tr> <th data-bbox="344 1496 831 1653">Заданное значение Z_{Ed} по EN 1993-1-10 Target value of Z_{Ed} according to EN 1993-1-10</th> <th data-bbox="831 1496 1436 1653">Требуемое значение Z_{Rd}, выраженное через относительное сужение по ГОСТ 28870 Required value of Z_{Rd} expressed in terms of relative narrowing according to GOST 28870</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="344 1653 831 1704">$Z_{Ed} \leq 10$</td> <td data-bbox="831 1653 1436 1704">—</td> </tr> <tr> <td data-bbox="344 1704 831 1756">$10 < Z_{Ed} \leq 20$</td> <td data-bbox="831 1704 1436 1756">Z 15</td> </tr> <tr> <td data-bbox="344 1756 831 1807">$20 < Z_{Ed} \leq 30$</td> <td data-bbox="831 1756 1436 1807">Z 25</td> </tr> <tr> <td data-bbox="344 1807 831 1848">$Z_{Ed} > 30$</td> <td data-bbox="831 1807 1436 1848">Z 35</td> </tr> </tbody> </table>	Заданное значение Z_{Ed} по EN 1993-1-10 Target value of Z_{Ed} according to EN 1993-1-10	Требуемое значение Z_{Rd} , выраженное через относительное сужение по ГОСТ 28870 Required value of Z_{Rd} expressed in terms of relative narrowing according to GOST 28870	$Z_{Ed} \leq 10$	—	$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z 15	$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z 25	$Z_{Ed} > 30$	Z 35
Заданное значение Z_{Ed} по EN 1993-1-10 Target value of Z_{Ed} according to EN 1993-1-10	Требуемое значение Z_{Rd} , выраженное через относительное сужение по ГОСТ 28870 Required value of Z_{Rd} expressed in terms of relative narrowing according to GOST 28870										
$Z_{Ed} \leq 10$	—										
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z 15										
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z 25										
$Z_{Ed} > 30$	Z 35										
5.2.1(3)	<p>Значение коэффициента α_{cr} принято без изменений.</p> <p>The limits for α_{cr} are accepted</p>										
5.2.2(8)	<p>Принято без дополнений.</p> <p>No additional information provided for</p>										

Продолжение таблицы

Пункт EN 1993-1-1 Clause of EN 1993-1-1	Национально устанавливаемые параметры Nationally Determined Parameters (NDP)
5.3.2(3)	Расчетные значения относительных начальных местных изгибных несовершенств приняты по таблице 5.1. Design values of initial local bow imperfection should be taken from Table 5.1
5.3.2(11)	Принято без дополнений. No additional information provided for
5.3.4(3)	Принято рекомендуемое значение коэффициента k . Recommended value of the factor k is accepted
6.1(1)	Принято без дополнений. No additional information provided for
6.1(1)В	<p>Значения частных коэффициентов безопасности γ_{Mi} для зданий следует принимать равными:</p> <p>Partial factors γ_{Mi} for buildings should be taken as follows:</p> $\gamma_{M0} = \gamma_m / \gamma_c;$ $\gamma_{M1} = \gamma_m / \gamma_c,$ <p>где γ_m — коэффициент безопасности по материалу, равный 1,025 для проката, поставляемого по ГОСТ 27772 или другим ТНПА, в которых используется процедура контроля свойств проката по ГОСТ 27772, и равный 1,050 — для остального проката;</p> <p>γ_c — коэффициент условий работы, принимаемый по таблице НП.4.</p> <p>where γ_m — is the partial factor taken as 1,025 for steel according to GOST 27772 or other TNLA with steel properties controlling procedure given in GOST 27772 and taken as 1,050 for other steel;</p> <p>γ_c — is the partial factor taken from table NA.4.</p> $\gamma_{M2} = \gamma_u,$ <p>где γ_u — коэффициент надежности для элементов, рассчитываемых на прочность с использованием расчетных сопротивлений R_u, установленных по временному сопротивлению стали.</p> <p>where γ_u — is the partial factor for member checks using the resistance of cross-sections R_u determined with ultimate strength for structural steel.</p> <p><i>Примечание</i> — Кроме перечисленных выше коэффициентов в расчетах следует учитывать коэффициент надежности по ответственности γ_n. Классификация объектов по уровням ответственности и значения коэффициента γ_n приведены в ГОСТ 27751.</p> <p><i>Note</i> — The additional partial factor γ_n should also be taken into account. For the numerical values for partial factor γ_n and the reliability classification see GOST 27751.</p>

Продолжение таблицы

Пункт EN 1993-1-1 Clause of EN 1993-1-1	Национально устанавливаемые параметры Nationally Determined Parameters (NDP)	
	Таблица НП.4 — Коэффициенты условий работы элементов конструкций и соединений	
	Элементы конструкций	Коэффициенты условий работы γ_c
	1 Сплошные балки и сжатые элементы ферм перекрытий под залами театров, клубов, кинотеатров, под трибунами, под помещениями магазинов, книгохранилищ и архивов и т. п. при весе перекрытий, равном или большем временной нагрузки	0,9
	2 Колонны общественных зданий	0,95
	3 Сжатые основные элементы (кроме опорных) решетки составного таврового сечения из уголков сварных ферм покрытий и перекрытий (например, стропильных и аналогичных им ферм) при гибкости $\lambda \geq 60$	0,8
	4 Сплошные балки при расчетах на общую устойчивость при $\varphi_b < 1,0$	0,95
	5 Затяжки, оттяжки, подвески из прокатной стали	0,9
	6 Элементы стержневых конструкций покрытий и перекрытий: а) сжатые (за исключением замкнутых трубчатых сечений) при расчетах на устойчивость б) растянутые в сварных конструкциях в) растянутые, сжатые, а также стыковые накладки в болтовых конструкциях (кроме конструкций на высокопрочных болтах) из стали с пределом текучести до 440 Н/мм ² , несущих статическую нагрузку, при расчетах на прочность	0,95 0,95 1,05
	7 Сплошные составные балки, колонны, а также стыковые накладки из стали с пределом текучести до 440 Н/мм ² , несущие статическую нагрузку и выполненные с помощью болтовых соединений (кроме соединений на высокопрочных болтах), при расчетах на прочность	1,1
	8 Сечения прокатных и сварных элементов, а также накладок из стали с пределом текучести до 440 Н/мм ² в местах стыков, выполненных на болтах (кроме стыков на высокопрочных болтах), несущих статическую нагрузку, при расчетах на прочность: а) сплошных балок и колонн б) стержневых конструкций покрытий и перекрытий	1,1 1,05
	9 Сжатые элементы из одиночных уголков, прикрепляемые одной полкой, за исключением плоских ферм из одиночных уголков	0,75
	10 Опорные плиты из стали с пределом текучести до 285 Н/мм ² , несущие статическую нагрузку, толщиной, мм: а) $t \leq 40$ б) $40 < t \leq 60$ в) $60 < t \leq 80$	1,2 1,15 1,1
	<p><i>Примечание 1</i> — Коэффициенты условий работы $\gamma_c < 1$ при расчете одновременно учитывать не следует.</p> <p><i>Примечание 2</i> — Коэффициенты условий работы, приведенные соответственно в поз. 1 и бв); 1 и 7; 1 и 8; 2 и 7; 2 и 8а); 3 и бв) при расчете следует учитывать одновременно.</p> <p><i>Примечание 3</i> — Коэффициенты условий работы, приведенные в поз. 3; 4; 6а), бв); 7; 8 и 9, а также в поз. 5 и бб) (кроме стыковых сварных соединений), при расчете соединений рассматриваемых элементов учитывать не следует.</p> <p><i>Примечание 4</i> — В случаях, не оговоренных в настоящей таблице, $\gamma_c = 1$.</p>	

Продолжение таблицы

<p>Пункт EN 1993-1-1 Clause of EN 1993-1-1</p>	<p>Национально устанавливаемые параметры Nationally Determined Parameters (NDP)</p>	
<p>Table NA.4 — Partial factors γ_c for structural components and joints</p>		
<p>Structural components</p>		<p>Partial factors γ_c</p>
<p>1 Solid beams and bracing members in compression in lattice girders in halls of theatres, clubs, cinemas, under the tribunes, shops, libraries and archives, etc. where the floor mass is equal or greater than the effective loading</p>		<p>0,9</p>
<p>2 Columns in civil engineering works</p>		<p>0,95</p>
<p>3 Bracing members (except of bearing members) in compression for built-up members with closely spaced angels formed T-section of welded floor girders for the slenderness $\lambda \geq 60$</p>		<p>0,8</p>
<p>4 Solid beams in structural stability checks for $\varphi_b < 1,0$</p>		<p>0,95</p>
<p>5 Rolled steel stays, tensioning systems, hangers or suspenders</p>		<p>0,9</p>
<p>6 Latticed floor girders structural components: a) members in compression (except of circular hollow sections) in stability checks b) welded members in tension c) end-plates in tension or compression and bolted end-plate connections (except of high-strength structural bolting) for steel with a yield strength lower than 440 N/mm² under the static loading for ULS checks</p>		<p>0,95 0,95 1,05</p>
<p>7 Solid built-up beams, columns or end-plates for steel with a yield strength lower than 440 N/mm² with bolted end-plate connection under the static loading for ULS checks</p>		<p>1,1</p>
<p>8 Rolled or welded sections and end-plates for steel with a yield strength lower than 440 N/mm² in bolted splices (except of high-strength structural bolting) under the static loading for ULS checks: a) solid beams and columns b) latticed floor girders</p>		<p>1,1 1,05</p>
<p>9 Compression members with angles connected by one leg except of uniplanar lattice girders with single angles</p>		<p>0,75</p>
<p>10 Base plates with a yield strength lower than 285 N/mm² under the static loading with thickness, mm: a) $t \leq 40$ b) $40 < t \leq 60$ c) $60 < t \leq 80$</p>		<p>1,2 1,15 1,1</p>
<p><i>Note 1</i> — Only one partial factor $\gamma_c < 1$ should be taken into account at a time. <i>Note 2</i> — Partial factors given in 1 and 6c); 1 and 7; 1 and 8; 2 and 7; 2 and 8a); 3 and 6c) respectively should both be taken into account at a time. <i>Note 3</i> — When designing the joints the partial factors given in 3; 4; 6a), 6c); 7; 8 and 9 or 5 и 6b) (except of butt welded joints) should not be taken into account. <i>Note 4</i> — For structural components not covered in this Table $\gamma_c = 1$.</p>		

Окончание таблицы

Пункт EN 1993-1-1 Clause of EN 1993-1-1	Национально устанавливаемые параметры Nationally Determined Parameters (NDP)
6.3.2.2(2)	Приняты рекомендуемые значения коэффициента α_{LT} по таблице 6.3. Recommended values of the factor α_{LT} are accepted according table 6.3.
6.3.2.3(1)	Приняты рекомендуемые значения параметров $\bar{\lambda}_{LT,0}$ и β . Recommended values of the parameters $\bar{\lambda}_{LT,0}$ and β are accepted
6.3.2.3(2)	Приняты рекомендуемые значения коэффициента f . Recommended values of the factor f are accepted
6.3.2.4(1)В	Принято рекомендуемое предельное значение условной гибкости $\bar{\lambda}_{c0}$. Recommended limit value of slenderness $\bar{\lambda}_{c0}$ is accepted
6.3.2.4(2)В	Принято рекомендуемое предельное значение поправочного коэффициента k_{η} . Recommended limit value of the factor k_{η} is accepted
6.3.3(5)	Коэффициенты взаимодействия k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} допускается определять по любому из двух альтернативных методов. Values of the interaction k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} may be obtained using both of the alternative methods
6.3.4(1)	Принято без дополнений. No additional information provided for
7.2.1(1)В	Предельные значения вертикальных прогибов следует принимать по национальному приложению к СТБ EN 1990. Limits for vertical deflections should be taken from the National Annex to STB EN 1990
7.2.2(1)В	Предельные значения горизонтальных перемещений следует принимать по национальному приложению к СТБ EN 1990. Limits for horizontal deflections should be taken from the National Annex to STB EN 1990
7.2.3(1)В	Принято без дополнений. No additional information provided for
ВВ.1.3(3)В	Принято без дополнений. No additional information provided for