

## СВОД ПРАВИЛ

### КОНСТРУКЦИИ СТАЛЬНЫЕ ТОНКОСТЕННЫЕ ИЗ ХОЛОДНОГНУТЫХ ОЦИНКОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ И ГОФРИРОВАННЫХ ЛИСТОВ

#### Правила проектирования

#### Cold-formed thin-walled steel profile and galvanized corrugated plate constructions. Design rules

ОКС 77.140.70  
91.080.10

Дата введения 2017-06-04

### Предисловие

#### Сведения о своде правил

- 1 ИСПОЛНИТЕЛЬ - Закрытое акционерное общество "Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций им.Н.П.Мельникова" (ЗАО "ЦНИИПСК им.Мельникова")
- 2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 "Строительство"
- 3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России)
- 4 УТВЕРЖДЕН Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 декабря 2016 г. N 881/пр и введен в действие с 4 июня 2017 г.
- 5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)
- 6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в установленном порядке. Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования - на официальном сайте разработчика (Минстрой России) в сети Интернет*

ВНЕСЕНЫ: Изменение N 1, утвержденное и введенное в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 28 января 2019 г. N 51/пр с 29.07.2019; Изменение N 2, утвержденное и введенное в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 7 сентября 2021 г. N 643/пр с 08.10.2021

Изменения N 1, 2 внесены изготовителем базы данных по тексту М.: Стандартиформ, 2019; М.: ФГБУ "РСТ", 2021

### Введение

Настоящий свод правил обеспечивает соблюдение требований федеральных законов N 184-ФЗ "О техническом регулировании", N 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений", N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

Настоящий свод правил разработан авторским коллективом ЗАО "ЦНИИПСК им.Н.П.Мельникова" (канд. техн. наук, доц. Н.И.Пресняков, канд. техн. наук В.Ф.Беляев, д-р техн. наук В.М.Горицкий, канд. хим. наук Г.В.Оносов, Е.А.Понурова, С.И.Бочкова) при

участии АО "НИЦ "Строительство" - ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (д-р техн. наук, проф. И.И.Ведяков, д-р техн. наук, проф. П.Г.Еремеев), ООО "Техсофт" (д-р техн. наук, проф. В.А.Семенов, канд. техн. наук З.Х.Зебельян), ФГБОУ ВО "СибАДИ" (г.Омск) (д-р техн. наук, проф. С.А.Макеев), Фирма "УНИКОН" (г.Кемерово) (канд. техн. наук В.В.Катюшин), ОАО "Липецкий Гипромет" (С.А.Федюнин).

**Изменение N 1** разработано авторским коллективом ЗАО "ЦНИИПСК им.Мельникова" (д-р техн. наук *В.М.Горицкий*, канд. техн. наук *В.Ф.Беляев*, *Е.А.Понурова*, *С.И.Бочкова*).

**Изменение N 2** к СП 260.1325800.2016 разработано авторским коллективом ЗАО "ЦНИИПСК им.Мельникова" (канд. техн. наук *В.Ф.Беляев*, *С.И.Бочкова*, *Д.Е.Голубев*, *В.В.Косенков*, *А.В.Шуринов*) при участии Ассоциации "Объединение участников бизнеса по развитию стального строительства" (канд. техн. наук *Т.В.Назмеева*).  
(Измененная редакция, **Изм. N 1, 2**).

## 1 Область применения

Настоящий свод правил устанавливает правила проектирования и методы расчета и распространяется на стальные тонкостенные конструкции из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов, эксплуатируемых при расчетной температуре не выше плюс 100°С и не ниже минус 55°С.

Настоящий свод правил не распространяется на конструкции из холодноформованных профилей круглого или прямоугольного замкнутого сечения.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы нормативные ссылки на следующие документы:

**ГОСТ 9.401-2018** Единая система защиты от коррозии и старения. Покрyтия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов

**ГОСТ 166-89** Штангенциркули. Технические условия

**ГОСТ 9454-78** Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах

**ГОСТ 10299-80** Заклепки с полукруглой головкой классов точности В и С. Технические условия

**ГОСТ 10300-80** Заклепки с потайной головкой классов точности В и С. Технические условия

**ГОСТ 10301-80** Заклепки с полупотайной головкой классов точности В и С. Технические условия

**ГОСТ 10618-80** Винты самонарезающие для металла и пластмассы. Общие технические условия

**ГОСТ 10619-80** Винты самонарезающие с потайной головкой для металла и пластмассы. Конструкция и размеры

**ГОСТ 14918-2020** Прокат листовой горячеоцинкованный. Технические условия

**ГОСТ Р 58942-2020** Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски

**ГОСТ 21780-2006** Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности

**ГОСТ 23118-2019** Конструкции стальные строительные. Общие технические условия

**ГОСТ 24045-2016** Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. Технические условия

**ГОСТ 27772-2015** Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия

**ГОСТ 27751-2014** Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

[ГОСТ 34180-2017](#) Прокат стальной тонколистовой холоднокатаный и холоднокатаный горячеоцинкованный с полимерным покрытием с непрерывных линий. Технические условия

[ГОСТ Р ИСО 7050-2012](#) Винты самонарезающие с потайной головкой и крестообразным шлицем

[ГОСТ Р ИСО 8765-2013](#) Болты с шестигранной головкой с мелким шагом резьбы. Классы точности А и В

[ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010](#) Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств

[ГОСТ Р ИСО/МЭК 14764-2002](#) Информационная технология. Сопровождение программных средств

[СП 2.13130.2020](#) Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты

[СП 16.13330.2017](#) "СНиП II-23-81\* Стальные конструкции" (с изменениями N 1, N 2)

[СП 20.13330.2016](#) "СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия" (с изменениями N 1, N 2)

[СП 28.13330.2017](#) "СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии" (с изменениями N 1, N 2)

[СП 70.13330.2012](#) "СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции" (с изменениями N 1, N 3, N 4)

[СП 131.13330.2020](#) "СНиП 23-01-99\* Строительная климатология

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

(Измененная редакция, Изм. N 1, 2).

### 3 Термины и определения

В настоящем своде правил применены следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 долговечность:** Способность строительной конструкции или сооружения сохранять физические и эксплуатационные свойства, устанавливаемые при проектировании и обеспечивающие его безаварийную эксплуатацию в течение расчетного срока службы при надлежащем техническом обслуживании.

**3.2 закрепление:** Закрепление элемента или его части от линейных или угловых перемещений или деформаций от кручения или деформации сечения, которое повышает устойчивость аналогично жесткой опоре.

**3.3 кассетный профиль:** Профилированный лист с большими краевыми отгибами, предназначенными для соединения профилей между собой, формирующими опорные ребра вдоль пролета и поддерживающими промежуточные ребра, расположенные в направлении, перпендикулярном пролету.

**3.4 механическая безопасность:** Состояние зданий и сооружений с применением конструкций из стальных тонкостенных профилей, а также систем инженерно-технического обеспечения, которое характеризуется возможностью предотвращения вреда жизни или здоровью человека, ущерба имуществу и окружающей среде вследствие разрушения или потери устойчивости зданий, сооружений или их частей.

3.5 **надежность**: Способность строительных конструкций выполнять заданные функции с требуемым качеством в течение предусмотренного периода эксплуатации.

3.6 **номинальная толщина**: Устанавливаемая средняя толщина, включающая в себя толщину слоев цинкового и других металлических покрытий после прокатки и определяемая поставщиком стали.

Примечание - Не включает в себя толщину органических покрытий.

3.7 **опора**: Узел конструкции, через который элемент способен передавать силы или моменты на фундамент или другой элемент конструкции.

3.8 **относительная гибкость**: Нормированное безразмерное значение гибкости.

3.9 **пожарная безопасность**: Состояние зданий и сооружений, а также систем инженерно-технического обеспечения, которое характеризуется возможностью предотвращения пожара и вредного воздействия на людей, имущество и окружающую среду его (пожара) опасных факторов.

3.10 **расчетная толщина**: Толщина стального листа, используемая в расчете.

3.11 **система автоматизированного проектирования**: Система, объединяющая технические средства, математическое и программное обеспечение, параметры и характеристики которых выбирают с максимальным учетом особенностей задач инженерного проектирования и конструирования.

3.12 **толщина стального листа**: Номинальная толщина стального листа без учета толщины слоев цинкового и других металлических и лакокрасочных покрытий.

(Измененная редакция, Изм. N 1).

3.13 **тонколистовой прокат**: Прокат толщиной менее 4 мм, шириной 500 мм и более.

3.14 **частичное закрепление**: Закрепление элемента или его части от линейных и угловых перемещений или деформаций от кручения или деформации сечения, которое аналогично упругоподатливой опоре повышает устойчивость, но в меньшей степени, чем жесткое закрепление.

3.15 **эффект диафрагмы**: Работа профилированного листа на сдвиг в своей плоскости влияющая на жесткость, пространственную неизменяемость и прочность каркаса.

3.16 **эффективная ширина**: Площадь сечения, ширина или толщина сечения элемента, уменьшенная вследствие потери устойчивости от действия нормальных или касательных напряжений или от их совместного действия.

3.17 **пакетный образец**: Плоские заготовки, собранные в пакет.

(Введен дополнительно, Изм. N 1).

3.18 **хрупкое разрушение (здесь)**: Вид разрушения твердого тела (элемента или всей конструкции) при распространении трещины, в котором размер зоны пластической деформации незначительно мал по сравнению с размером трещины или поперечником твердого тела.

Примечание - Вид излома имеет кристаллическое строение.

(Введен дополнительно, Изм. N 1).

3.19 **вязкое разрушение**: Вид разрушения, когда размер зоны пластической деформации у вершины распространяющейся трещины сравним с величиной трещины или поперечным размером твердого тела.

Примечание - Вид излома имеет развитый, с большими и малыми выступами, рельеф.

(Введен дополнительно, Изм. N 1).

**3.20 ямочное разрушение:** Разновидность вязкого разрушения, когда на границе раздела матрица-частица второй фазы в результате пластической деформации тела происходит зарождение поры у частицы (стадия I), ее стабильный рост с образованием полости вокруг частицы второй фазы (стадия II), ускоренный рост поры до встречи с соседними порами или поверхностью тела с образованием полости, называемой ямкой (стадия III).

(Введен дополнительно, Изм. N 1).

**3.21 пластический сдвиг (срез):** Разновидность вязкого разрушения, когда разрушение локализуется в узких (нескольких) полосах скольжения и происходит под действием сдвиговых напряжений.

Примечание - Вид излома ножевидный с гладкой матовой поверхностью.

(Введен дополнительно, Изм. N 1).

#### 4 Основные обозначения

В настоящем своде правил применены следующие основные обозначения:

$A_{ef}$	- эффективная площадь поперечного сечения;
$A_g$	- площадь сечения брутто;
$A_{gn}$	- площадь сечения нетто с учетом ослаблений $A_g$ ;
$E$	- модуль упругости;
$G$	- модуль сдвига;
$K$	- линейная жесткость упругой связи;
$L_{ef}$	- эффективная длина для расчета на поперечные силы;
$M$	- момент, изгибающий момент;
$\Delta M$	- дополнительный изгибающий момент в стержне от смещения центра тяжести сечения при выключении части сжатых элементов сечения;
$N$	- продольная сила;
$P$	- расчетная нагрузка, определяемая по формуле $P = \gamma_f \cdot P_n$ ;
$P_n$	- нормативная нагрузка, определяемая по правилам СП 20.13330 и СП-16.13330;
$Q$	- поперечная сила, сила сдвига;
$Q_w$	- поперечная сила, воспринимаемая стенкой;
$R_s$	- расчетное сопротивление стали сдвигу;
$R_u$	- расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению;
$R_{wm}$	- временное сопротивление стали, равное значению предела текучести $\sigma_b$ по государственным стандартам и техническим условиям на сталь;
$R_y$	- расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести;
$R_{yn}$	- предел текучести стали, равный значению предела текучести $\sigma_T$ по государственным стандартам и техническим условиям на сталь;
$S$	- наименьшая (предельная) несущая способность конструктивного элемента, зависящая от прочности материала, размеров поперечного сечения и условий его работы;
$W_{ef}$	- момент сопротивления эффективного упругого сечения;
$a$	- длина пластины между элементами жесткости или без них;
$b$	- ширина пластины между элементами жесткости или без них;
$b_{ef}$	- расчетная (эффективная) ширина сжатой полки, стенки, пояса;
$f$	- прогиб (выгиб) или перемещение элемента конструкции;
$f_u$	- предельный прогиб (выгиб) или перемещение элемента конструкции;
$h_w$	- высота стенки между поясами;
$r$	- радиус;
$t$	- расчетная толщина стального листа, без учета металлических и органических покрытий;
$t_{cor}$	- номинальная толщина листа без учета цинкового и других металлических покрытий;

$t_{ном}$	- номинальная толщина листа после холодного формования, включая цинковые и другие металлические покрытия, но без учета органических покрытий;
$t_{ш}$	- толщина стенки;
$\beta$	- коэффициент эффективной ширины для сдвига в упругой стадии;
$\gamma_c$	- коэффициент условия работы;
$\gamma_f$	- коэффициент надежности по нагрузке;
$\gamma_m$	- коэффициент надежности по материалу;
$\gamma_n$	- коэффициент надежности по ответственности.

Примечание - Минимальные значения коэффициента указаны в [1] и ГОСТ 27751;

$\delta$	- максимальное перемещение конструктивного элемента в условиях нормальной эксплуатации (от нормативных значений воздействий);
$\varepsilon$	- деформация;
$\lambda_p$	- условная гибкость;
$\rho$	- коэффициент редуции, зависящий от граничных условий пластины и ее напряженного состояния;
$\sigma_{кр}$	- упругое критическое напряжение потери устойчивости;
$\varphi$	- коэффициент устойчивости при центральном сжатии, внецентренном сжатии либо сжатии с изгибом ( $\varphi \rightarrow \varphi_g$ ), балочный коэффициент устойчивости при изгибе ( $\varphi \rightarrow \varphi_b$ ), при растяжении ( $\varphi \rightarrow 1$ ).

## 5 Общие положения

### 5.1 Основные требования к конструкциям

5.1.1 При проектировании конструкций из стальных тонкостенных профилей следует соблюдать требования [1], СП 16.13330.2017 (подраздел 4.1) и ГОСТ 27751.

(Измененная редакция, Изм. N 1).

5.1.2 Защита конструкций от воздействия огня для обеспечения пожарной безопасности и огнестойкости строительных конструкций при проектировании из стальных тонкостенных профилей должна соответствовать с\* требованиям СП 2.13130.

\* Текст документа соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

### 5.2 Основные расчетные требования

5.2.1 При расчете конструкций из стальных тонкостенных профилей следует соблюдать требования, изложенные в СП 16.13330.2017 (раздел 4.2, пункты 4.2.1-4.2.6).

(Измененная редакция, Изм. N 2).

5.2.2 При необходимости допускается подтверждать расчеты экспериментальными исследованиями.

5.2.3 Элементы конструкций, рассматриваемые в настоящем своде правил, относятся к 4-му классу напряженно-деформированного состояния (НДС), в которых потеря местной устойчивости наступает до достижения предела текучести в одной или более зонах поперечного сечения.

Примечание - Для определения несущей способности при снижении работоспособности сжатых элементов от потери местной устойчивости используется эффективная ширина (см. 7.2).

### 5.3 Учет коэффициентов надежности по нагрузкам и сопротивлению материала

5.3.1 При расчете конструкций и соединений из стальных тонкостенных профилей следует учитывать коэффициенты надежности по нагрузкам  $\gamma_f$  и материалу  $\gamma_m$ , а также коэффициенты условий работы  $\gamma_c$  и коэффициент надежности по ответственности сооружения (элемента сооружения)  $\gamma_n$ .

5.3.2 Для обеспечения надежности несущих конструкций следует использовать нормативные и расчетные значения нагрузок и сопротивления. Коэффициенты надежности по нагрузкам  $\gamma_f$  и материалу  $\gamma_m$  представляют собой отношения:

$$\gamma_f = P / P_n, \gamma_m = R_n / R, \quad (5.1)$$

где  $P_n$  и  $R_n$  - нормативная нагрузка и нормативное сопротивление, определяемые по ГОСТ 27751, ГОСТ 14918, СП 20.13330, СП 16.13330;

$P$ ,  $R$  - расчетная нагрузка и расчетное сопротивление, представляющие собой максимальную нагрузку и минимальное сопротивление (в статистически-вероятностном смысле) за срок службы сооружения.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

5.3.3 Допускается использовать в расчетах изменчивость механических свойств стали по сечению гнутых профилей, полученные на основании экспериментальных данных. По сечению гнутого профиля следует выделять три зоны упрочнения: местагиба; плоские участки, прилегающие к местамгиба, и средние зоны плоских участков. Нормативные и расчетные сопротивления, а также коэффициенты  $\gamma_m$  для этих зон необходимо определять и обосновывать статистической обработкой с использованием распределений минимальных значений механических свойств.

## 5.4 Учет назначения и условий работы конструкций

5.4.1 Для учета особенностей работы конструктивного элемента (динамика, усталость, искажение формы сечения под нагрузкой, низкие температуры, возможность потери устойчивости) применяют коэффициент условия работы  $\gamma_c$ , на который умножается нормативное сопротивление. Значение данного коэффициента определяют по ГОСТ 27751, СП 16.13330 и в соответствии с таблицей 5.1.

Таблица 5.1

Элемент конструкции	Коэффициент условия работы $\gamma_c$
1 Балки, прогоны из одиночных и спаренных гнутых профилей С-образных, Z-образных и $\Sigma$ -образных сечений	0,95
2 Колонны и стойки из спаренных профилей С-образных и $\Sigma$ -образных сечений с толщиной стенки профиля $t$ , мм:	
$t \leq 2,0$	0,8
$2,0 < t \leq 3,0$	0,9
$3,0 < t \leq 4,0$ мм	0,95
Колонны и стойки из одиночных С-образных и $\Sigma$ -образных сечений с толщиной стенки профиля $t$ , мм:	
$t \leq 1,5$ мм	0,75
$1,5 < t \leq 3,0$ мм	0,8
$3,0 < t \leq 4,0$ мм	0,9
3 Сжатые и внецентренно сжатые колонны и стойки из спаренных швеллеров с неокаймленными полками	0,75
4 Растянутые элементы (затяжки, тяги, оттяжки и подвески) при расчете на прочность по неослабленному сечению	0,90
5 Сжатые элементы ферм из спаренных профилей С- и $\Sigma$ -образных сечений	0,90
6 Прогоны несимметричного сечения	0,90
7 Сжатые тавровые элементы решетчатых конструкций из спаренных уголков с неокаймленными полками при расчете на устойчивость	0,75
8 Сжатые элементы из одиночных уголков с неокаймленными полками	0,7
9 Крепление связей, распорок, жестких настилов, планок, раскрепляющих сжатые пояса стержней и внецентренно сжатые стержни из плоскости действия момента	0,85
10 Устойчивость неподкрепленной стенки балок и прогонов от воздействия опорной реакции или местной нагрузки, приложенных к поясам	0,85
Примечание - Коэффициенты $\gamma_c < 1$ в расчетах не следует учитывать совместно.	

(Измененная редакция, Изм. N 2).

5.4.2 Для учета ответственности сооружаемого объекта, в том числе с применением конструкций из стальных тонкостенных профилей, используют коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n$ , минимальные значения которого в отношении зданий и

сооружений повышенного, нормального и пониженного уровней ответственности указаны в [ГОСТ 27751](#).

5.4.3 Уровень ответственности зданий и сооружений, а также значения коэффициента надежности по ответственности устанавливаются генеральным проектировщиком по согласованию с заказчиком в задании на проектирование, но не ниже значений, приведенных в [ГОСТ 27751-2014](#) (таблица 2).

5.4.4 Для различных конструктивных элементов сооружений допускается устанавливать различные уровни ответственности и назначать различные значения коэффициента надежности по ответственности.

5.4.5 Значения  $\gamma_c$  для конструкций из горячекатаного проката и гнутых профилей с коэффициентом редукиции  $\rho = 1,0$  следует принимать по [СП 16.13330.2017](#) (таблица 1).

(Измененная редакция, [Изм. N 2](#)).

## 5.5 Учет начальных несовершенств элементов несущего каркаса

5.5.1 В проекте необходимо указать класс точности конструкций по изготовлению, который будет являться одним из исходных данных при разработке технологии изготовления и монтажа конструкций. В зависимости от класса точности и номинального размера конструкции по [ГОСТ 23118-2019](#) (таблица Б.2, приложение Б) выбирают значение максимального начального искривления конструкции.

(Измененная редакция, [Изм. N 2](#)).

5.5.2 Местные изгибные отклонения элементов учтены в формулах определения несущей способности элементов по устойчивости. Относительные начальные местные изгибные несовершенства элементов при плоской форме потери устойчивости  $e_0 / L$ , приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Расчетные относительные значения начального местного изгибного несовершенства  $e_0 / L$

Соотношение при упругом расчете	Принятые предельные значения местных изгибов для типов сечений по таблице 7.5		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
$e_0 / L$	1/300	1/250	1/200

(Измененная редакция, [Изм. N 2](#)).

## 5.6 Основные положения и требования к конструкциям

5.6.1 Несущая способность и жесткость конструкций должны быть обеспечены в соответствии с [СП 70.13330](#), установленным к геометрическим параметрам конструкций, конструктивным элементам, сварным, болтовым и другим соединениям, а также, при необходимости, к другим элементам и деталям конструкций в зависимости от характера и условий их работы.

5.6.2 Расчет точности геометрических параметров зданий, сооружений и их элементов выполняют по [ГОСТ 21780](#) при разработке рабочей документации и правил производства строительных работ.

5.6.3 Проектные решения по обеспечению полной собираемости конструкций должны опираться на данные расчета точности геометрических параметров. Допуски на точность технологических процессов приведены в [ГОСТ Р 58942](#) и выбираются при проектировании на основании расчета точности.

(Измененная редакция, [Изм. N 2](#)).

5.6.4 Предельные отклонения геометрических параметров конструкций (элементов конструкций, изделий, сборочных единиц) должны быть указаны в рабочей документации, в стандартах или технических условиях на конструкции конкретного вида в соответствии с требуемыми эксплуатационными свойствами в реальных технологических условиях при наименьших затратах.

5.6.5 Наряду с применением холодногнутого оцинкованного профиля, в каркасах можно применять горячекатаные и составные сварные элементы.



## 5.7 Формы поперечных сечений элементов конструкций из стальных тонкостенных профилей

5.7.1 Формы сечений тонкостенных гнутых профилей зависят от требований проектировщиков, но ограничены технологическими возможностями заводов-изготовителей. При проектировании необходимо учитывать стоимость холодногнутого оцинкованного профиля, которая отличается от стоимости горячекатаного проката. На рисунке 5.1 приведены примеры типичных поперечных сечений гнутых профилей, отвечающих требованиям настоящего свода правил.

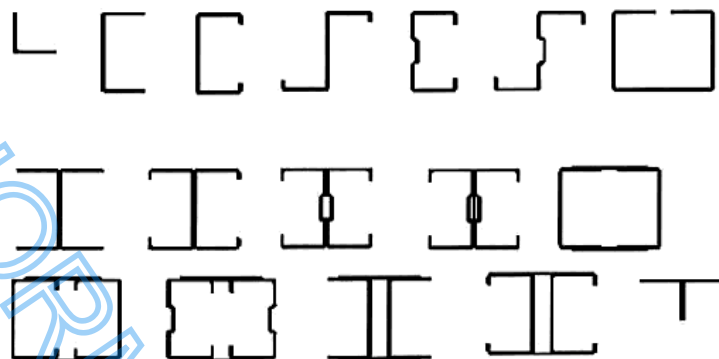


Рисунок 5.1 - Типичные формы несущих профилей и составных сечений элементов конструкций из стальных тонкостенных, холодногнутого профиля

В редких случаях могут быть использованы профили открытого и замкнутого сечений, представленные на рисунке 5.2.

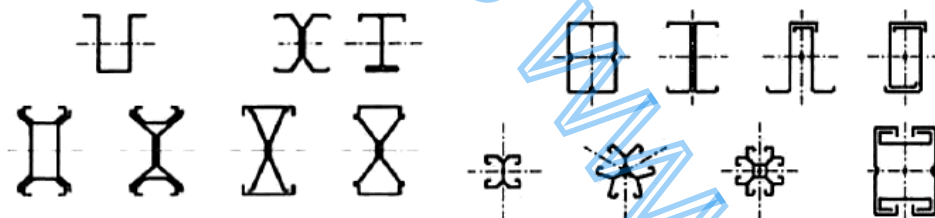


Рисунок 5.2 - Открытые и замкнутые сечения элементов конструкций из стальных тонкостенных, холодногнутого профиля

Для ограждающих конструкций и настилов используются профили, представленные на рисунке 5.3.

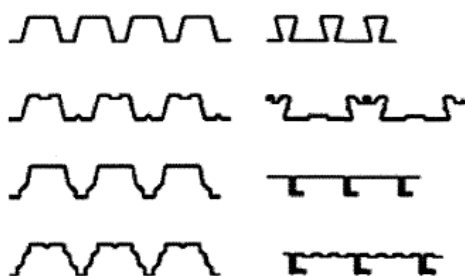
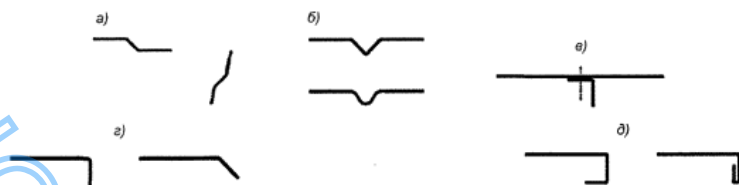


Рисунок 5.3 - Формы сечений профилированных листов и кассетных профилей

5.7.2 Пластинчатые элементы профилей должны укреплять продольными элементами жесткости. Типичные формы продольных элементов жесткости холодноформованных профилей и профилированных листов, которые могут быть краевыми или промежуточными, показаны на рисунке 5.4.



а) - отгибы и сгибы; б) - изогнутый или скругленный промежуточный элемент жесткости; в) - уголок жесткости, присоединенный болтом; г) - одиночные краевые отгибы; д) - двойные краевые отгибы профилированных листов

Рисунок 5.4 - Типичные формы элементов жесткости холодногнутых профилей

## 6 Материалы для конструкций и соединений

6.1 Стальные холодногнутые оцинкованные профили следует изготавливать из оцинкованного проката по ГОСТ 14918 толщиной от 1 до 4 мм, высокой точности проката по толщине (ВТ) и повышенной - по ширине (АШ), нормальной плоскостности с обрезной кромкой и цинковым покрытием класса не ниже 275, стали марок 220, 250, 280, 320, 350, 390, 420, 450.

Допускается применение стального тонколистового проката с алюмоцинковым покрытием класса не ниже 160, а также цинкалюминиевыми и цинкалюмомагниевыми покрытиями с классами покрытий, обеспечивающими необходимую коррозионную стойкость.

(Измененная редакция, Изм. N 1, 2).

6.2 (Исключен, Изм. N 1).

6.3 Расчетные сопротивления гнутых профилей следует определять по формулам, приведенным в таблице 6.1.

Значение  $\gamma_m = 1,025$  - для проката с пределом текучести до 350 Н/мм<sup>2</sup> и  $\gamma_m = 1,05$  - для проката с пределом текучести 350 Н/мм<sup>2</sup> и выше.

Таблица 6.1

Напряженное состояние	Расчетное сопротивление проката
Растяжение, сжатие, изгиб	$R_y = R_{ym} / \gamma_m$
Сдвиг <sup>1)</sup>	$R_s = 0,58 R_{ym} / \gamma_m$
Смятие при плотном касании	$R_{ip} = 0,5 R_{ym} / \gamma_m$

Нормативные и расчетные сопротивления при растяжении, сжатии и изгибе холоднокатаного листового проката приведены в таблице 6.2.

<sup>1)</sup> Расчетное сопротивление при сдвиге с учетом потери устойчивости стенки профиля определяют по формулам таблицы 7.4.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

Таблица 6.2

Нормативный документ	Марка оцинкованного проката	Класс цинкового покрытия	Нормативное сопротивление, Н/мм <sup>2</sup>	Расчетное сопротивление, Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\Delta$ , %

			$R_{yn}$	$R_{un}$	$R_y$	$R_s$	$R_{lp}$	
ГОСТ 14918	220	275 ÷ 600	220	300	215	125	145	20
	250		250	330	245	140	160	19
	280		280	360	270	155	175	18
	320		320	390	310	180	190	17
	350		350	420	330	190	200	16
	390		390	450	370	215	210	15
	420		420	480	400	230	225	14
	450		450	510	425	245	240	13

Примечание - Значения расчетных сопротивлений  $R_y$ ,  $R_s$ ,  $R_{lp}$  получены по формулам, приведенным в таблице 6.1, с округлением до 5 Н/мм<sup>2</sup>.

(Измененная редакция, Изм. N 1, 2).

6.4 При необходимости усиления антикоррозионной защиты следует применять гнутые сортовые профили и гофрированные профили, изготовленные из горячеоцинкованного, холоднокатаного окрашенного листа по ГОСТ 34180.

(Измененная редакция, Изм. N 1, 2).

6.5 Допускается применение импортных сталей, показатели качества которых соответствуют требованиям, указанным в 6.1 и таблице 6.2.

6.6 Для вспомогательных деталей (фасонки, крепежные элементы, опорные плиты и пр.) следует применять стали не ниже класса прочности С255 по ГОСТ 27772.

6.7 Основными видами соединений элементов конструкций из стальных тонкостенных профилей являются болтовые, на самонарезающих и самосверлящих винтах и соединения на вытяжных заклепках.

6.8 Общие технические условия на самонарезающие и самосверлящие винты определены в ГОСТ 10618, ГОСТ 10619, ГОСТ Р ИСО 7050.

Другие типы метизов, такие как пристреливаемые дюбели и комбинированные заклепки, могут быть использованы в соответствии с действующими техническими условиями и стандартами организаций на изделия. Технические условия на вытяжные заклепки определены в ГОСТ 10299 - ГОСТ 10301. Особенности расчета соединений приведены в разделе 8.

6.9 Нормативные значения несущей способности на срез и минимальной несущей способности на растяжение метизов принимают по стандартам организаций на эти изделия.

6.10 Применение конструкций для неотапливаемых зданий и сооружений, а также конструкций отапливаемых зданий и сооружений, контактирующих с наружной средой в районах с расчетными температурами ниже минус 45°С, изготовленных из тонкостенных профилей с использованием оцинкованного проката марок 220 : 450 по ГОСТ 14918, ограничивается расчетной температурой испытаний в соответствии с данными таблицы 6.3.

Примечание - За расчетную температуру принимают среднюю температуру самых холодных суток для данной местности, устанавливаемую с обеспеченностью 0,98 по таблице 3.1 температур наружного воздуха по СП 131.13330.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

Таблица 6.3 - Нормируемые показатели ударной вязкости проката и ограничения по расчетным температурам местности при применении проката

Район размещения с расчетной температурой, °С	Нормируемые показатели	Нормативный предел текучести стали, Н/мм <sup>2</sup>								
		220 ≤ $R_{yn}$ < 390			390 ≤ $R_{yn}$ ≤ 420			420 < $R_{yn}$ ≤ 450		
		Толщина проката, мм								
		≤ 1,5	≤ 2,0	> 2,0 ≤ 4,0	≤ 1,5	≤ 2,0	> 2,0 ≤ 4,0	≤ 1,5	≤ 2,0	> 2,0 ≤ 4,0
-45 > $t$ ≥ -55	Нормативное значение ударной вязкости KCV, Дж/см <sup>2</sup>	34 (24) 1)	34	34	34 (24) 1)	34	34	34 (24) 1)	34	34
	Температура проведения испытаний, °С	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40

-55 > t ≥ -65	Нормативное значение ударной вязкости KCV, Дж/см <sup>2</sup>	34 (24) 1)	34	34	34 (24) 1)	34	34	34 (24) 1)	-	-
Температура проведения испытаний, °С		-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-	-
1) При условии, что доля вязкой составляющей в изломе - не менее 85%.										

(Измененная редакция, Изм. N 1, 2).

6.11 Требования к сварным соединениям и сварочным материалам должны соответствовать СП 16.13330.2017 (подраздел 14.1).

Примечание - Сварные соединения следует выполнять в заводских условиях с последующей защитой зоны шва от воздействия коррозии.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

6.12 Не допускается использование в неотапливаемых помещениях конструкций из стальных тонкостенных профилей с соединениями электродуговой и контактной сваркой при расчетной температуре ниже минус 45°С.

6.13 Характеристики сталей конструкций для отапливаемых зданий и сооружений, хранящиеся при отрицательных температурах на открытых складах или в смонтированном состоянии без подачи тепла, также должны соответствовать требованиям пункта 6.14 и таблицы 6.3.

(Введен дополнительно, Изм. N 1).

6.14 Нормативное значение ударной вязкости следует принимать на основании результатов испытаний на продольных образцах типа Шарли. Значение ударной вязкости образца KCV должно быть не ниже 34 Дж/см<sup>2</sup>.

Для стальных профилей толщиной до 1,5 мм включительно допускается принимать значение ударной вязкости образца KCV не ниже 24 Дж/см<sup>2</sup> при условии, что доля вязкой составляющей в изломе должна быть не менее 85%.

(Введен дополнительно, Изм. N 1).

6.15 При определении доли вязкой составляющей, учитывая слабо различающиеся при визуальном наблюдении поверхности изломов образцов в условиях смешанного механизма разрушения (хрупкий плюс вязкий), следует использовать увеличительные приборы с подсветкой с 10-кратным увеличением и более.

(Введен дополнительно, Изм. N 1).

6.16 Методика отбора образцов, воспроизводящих величину наклёпа в зонахгиба, и методика проведения испытаний образцов приведены в приложении Д.

(Введен дополнительно, Изм. N 1).

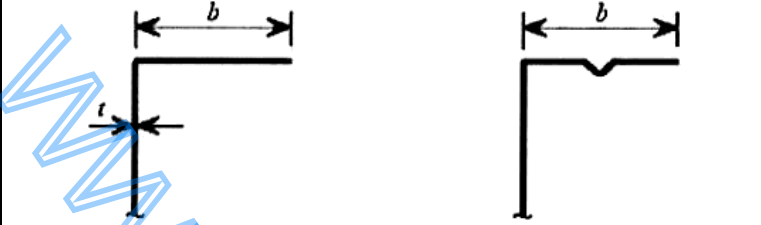
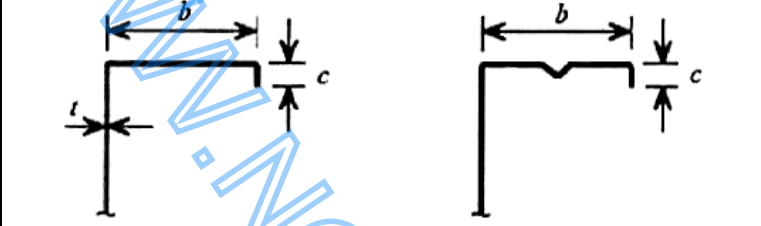
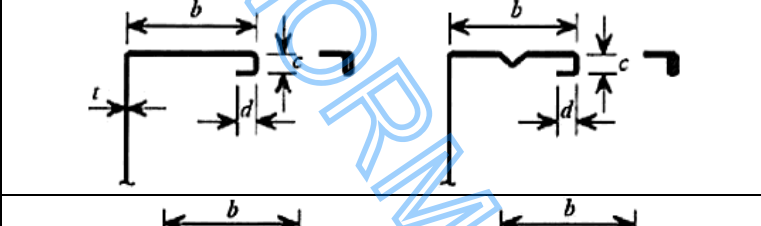
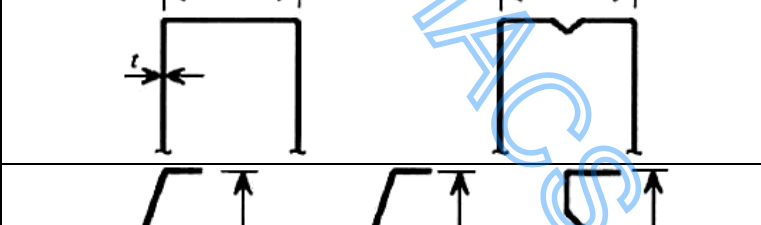
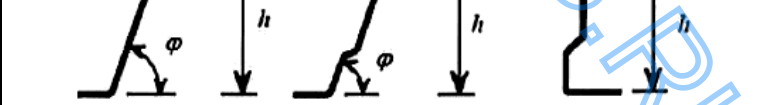
## 7 Расчет конструктивных систем зданий и сооружений на прочность и устойчивость

### 7.1 Общие положения

7.1.1 В настоящем разделе приведены общие требования по расчету неподкрепленных и подкрепленных тонких, сжатых пластинок, а также профилей и профилированных настилов. Специальные требования по расчету отдельных видов конструкций приведены в приложении А. Требования настоящего свода правил по расчету не распространяются на поперечные сечения, отношения ширины и высоты которых к их толщине выходят за пределы, указанные в таблице 7.1.

Таблица 7.1 - Максимальные значения отношений ширины и высоты элементов сечения к толщине

Элементы поперечного сечения	Максимальное значение
	$b/t \leq 60$

	
	$b/t \leq 100$ $c/t \leq 40$
	$b/t \leq 100$ $c/t \leq 50$ $d/t \leq 40$
	$b/t \leq 300$
	$h/t \leq 300 \sin \varphi$ $45^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$

7.1.2 Для обеспечения необходимой жесткости и исключения преждевременной потери устойчивости самого элемента его размеры должны быть в следующих пределах:

$$0,2 \leq c/b \leq 0,5; \quad (7.1)$$

$$0,1 \leq d/b \leq 0,25, \quad (7.2)$$

где размеры  $b$ ,  $c$  и  $d$  - в соответствии с таблицей 7.1. Если  $c/b < 0,2$  или  $d/b < 0,1$ , то отгиб не учитывается ( $c = 0$  или  $d = 0$ ).

Примечания

1 Если геометрические характеристики эффективного поперечного сечения определены испытаниями или расчетами, то эти ограничения не учитывают.

2 Размер отгиба  $c$  измеряют перпендикулярно полке, даже если он расположен под другим углом по отношению к ней.

7.1.3 Общие размеры холодноформованных элементов и профилированных листов (ширина  $b$ , высота  $h$ , внутренний радиусгиба  $r$  и другие размеры) измеряют по поверхности профиля (см. таблицу 7.1 и рисунок 7.1).

7.1.4 Проектирование несущих конструкций зданий и сооружений с применением конструкций из стальных тонкостенных профилей проводят согласно требованиям раздела 5.

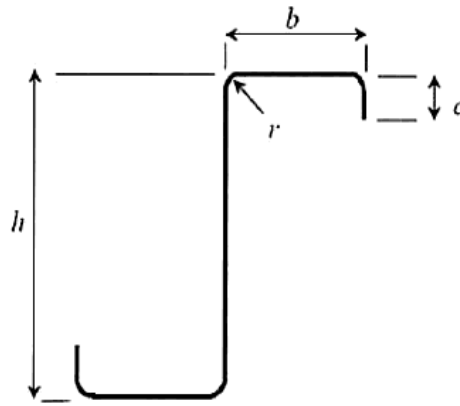


Рисунок 7.1 - Пример обозначения размеров S-образного сечения

В расчетах следует принимать следующие обозначения осей в сечении элементов профиля, как это показано на рисунке 7.2. Для профилированных листов и кассетных профилей используют следующие обозначения осей:  $x-x$  - ось параллельна плоскости листа;  $y-y$  - ось перпендикулярна плоскости листа.

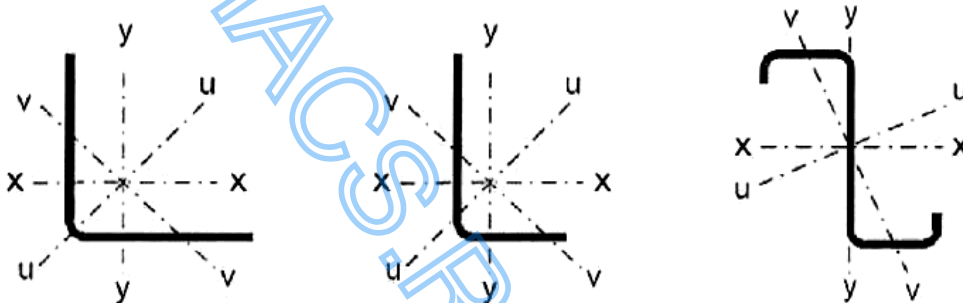


Рисунок 7.2 - Обозначения осей

7.1.5 В качестве расчетной следует использовать скорректированную толщину стали  $t_{cor}$ , при этом:

$$t_{cor} = t - \text{при предельном допуске } t_g \leq 5\% \text{ толщины листа;}$$

$$t_{cor} = t \cdot \frac{100 - t_g}{95} - \text{при предельном допуске } t_g > 5\% \text{ толщины листа,}$$

где  $t_{cor} = t - t_{m.p}$ ;

$t_g$  - минусовой допуск на толщину листовой заготовки, %;

$t_{m.p}$  - толщина металлического покрытия.

Примечание - Для цинкового покрытия класса 275  $t_{m.p}$  - 0,04 мм.

7.1.6 Рекомендуемые значения толщины листа:

$0,5 \text{ мм} \leq t_{cor} \leq 4 \text{ мм}$  - для изготовления профилей и профилированных листов;

$0,5 \text{ мм} \leq t_{cor} \leq 4 \text{ мм}$  - для накладок и стыков.

Может быть использован материал большей или меньшей толщины при условии, что несущая способность элемента определена по расчету, основанному на испытаниях.

## 7.2 Расчет конструкций из тонкостенных профилей

7.2.1 В тонкостенных металлических конструкциях допускается потеря местной устойчивости сжатых элементов, составляющих поперечный профиль конструктивного элемента (например, стенки и полки С-образного, либо двутаврового профиля), при условии обеспечения общей несущей способности конструктивного элемента.

7.2.2 Потеря местной устойчивости элемента учитывается в расчете путем редуцирования геометрических характеристик поперечного сечения: площади поперечного сечения ( $A_{ef}$ ,  $b_{ef}$ ,  $t_{ef}$ ), момента сопротивления ( $W_{ef}$ ) и момента инерции ( $I_{ef}$ ). Методика определения редуцированных характеристик приведена в 7.3.

7.2.3 Для каждого типа конструктивных элементов необходимо выполнять проверку несущей способности с учетом редуцированных характеристик по первому и второму предельным состояниям. Проверку несущей способности на примере центрально сжатого сечения следует проводить по формуле

$$\frac{\gamma_m F}{\gamma_c \cdot R_n \cdot G_{ef}} \leq 1, \quad (7.3)$$

где  $F$  - максимальный расчетный силовой фактор в элементе от невыгодных сочетаний нагрузок и воздействий;

$G_{ef}$  - редуцированный геометрический параметр поперечного сечения стержня для этого сочетания нагрузок и воздействий;

$R_n$  - нормативное сопротивление стали, временное сопротивление или предел текучести;

$\gamma_m$  - коэффициент надежности по материалу;

$\gamma_c$  - коэффициент условий работы.

Примечание - При вычислении силового фактора  $F$  должен быть учтен  $\gamma_n$  - коэффициент надежности по ответственности зданий и сооружений.

Проверку по второму предельному состоянию следует выполнять от воздействия на конструкцию нормативных нагрузок с учетом редуциации сечения по формуле

$$f \leq f_u, \quad (7.4)$$

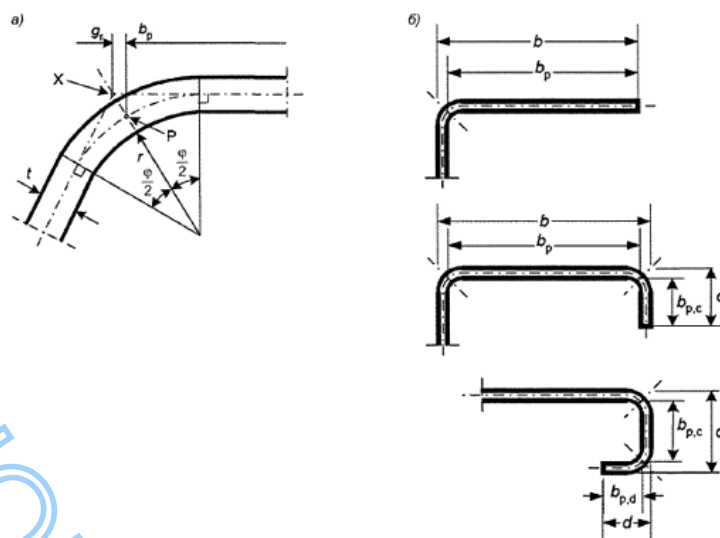
где  $f$  - прогиб (выгиб) или перемещение элемента конструкции;

$f_u$  - предельный прогиб (выгиб) или перемещение элемента конструкции по СП 20.13330.2016 (приложение Д).

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.2.4 При определении геометрических характеристик сечения профилей следует отдавать предпочтение приближенному способу, без учета радиусов закругления в углах профилей. Влияние радиусов углов сгиба на несущую способность сечения может не учитываться, если внутренний радиус  $r \leq 5t$  и  $r \leq 0,10b_p$ . В этом случае поперечное сечение допускается считать состоящим из плоских элементов, состыкованных под углом (в соответствии с рисунком 7.3, приняв  $b_p$  для всех плоских элементов, включая плоские растянутые элементы). При определении характеристик жесткости поперечного сечения следует учитывать влияние углов сгиба.

7.2.5 Размеры теоретической ширины  $b_p$  и высоты  $h_w$  плоских участков поперечных сечений профилей с учетом углов сгиба следует измерять от средних точек соседних угловых элементов, как показано на рисунке 7.3.



а) - средняя точка угла или сгиба; б) - теоретическая ширина  $b_p$  для плоских частей полок; в) - теоретическая ширина  $b_p$  плоской части стенки ( $b_p =$  наклонная высота  $s_w$ ); г) - теоретическая ширина  $b_p$  плоских частей, смежных с элементом жесткости на стенке; д) - теоретическая ширина  $b_p$  плоских участков, смежных с элементом жесткости на полке; X - точка пересечения срединных линий плоских участков; P - точка пересечения биссектрисы угла  $\varphi$  со срединной линией поперечного сечения;  $g_r$  - уменьшенный радиус изгиба пластинки, вычисляемый по формуле

$$g_r = r_m \left( \operatorname{tg} \left( \frac{\varphi}{2} \right) - \sin \left( \frac{\varphi}{2} \right) \right),$$

где  $r_m = r + \frac{t}{2}$  - радиус изгиба пластинки, определяемый по рисунку 7.3а)

Рисунок 7.3, лист 1 - Теоретическая ширина  $b_p$  плоских участков поперечного сечения, примыкающих к углу

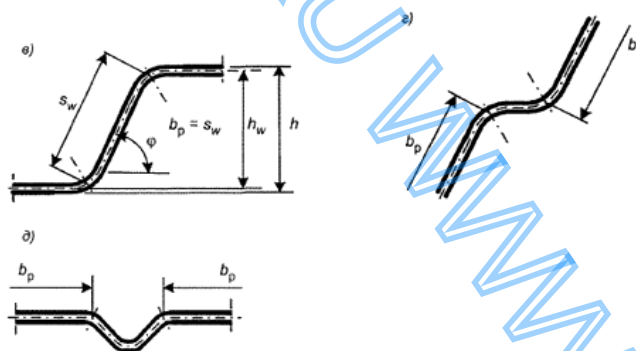


Рисунок 7.3, лист 2

7.2.6 Влияние зон сгиба на геометрические характеристики сечения может быть учтено уменьшением их значений, рассчитанных для подобного сечения с сопряжениями под углом (см. рисунок 7.4), используя следующие приближенные формулы

$$A_g \approx A_{g,sh} (1 - \delta); \tag{7.5}$$

$$I_g \approx I_{g,sh} (1 - 2\delta); \tag{7.6}$$

$$I_w \approx I_{w,sh} (1 - 4\delta); \tag{7.7}$$

$$\delta = 0,43 \frac{\sum_{j=1}^n r_j \frac{\varphi_j}{90^\circ}}{\sum_{i=1}^m b_{p,i}}; \tag{7.8}$$

где  $A_g$  - полная площадь поперечного сечения;



$A_{g,sh}$  - значение  $A_g$  для сечения с острыми углами;

$b_{p,i}$  - теоретическая ширина плоского  $i$ -го элемента в сечении с острыми углами;

$I_g$  - момент инерции полного поперечного сечения;

$I_{g,sh}$  - значение  $I_g$  для сечения с острыми углами;

$I_w$  - секториальный момент инерции поперечного сечения;

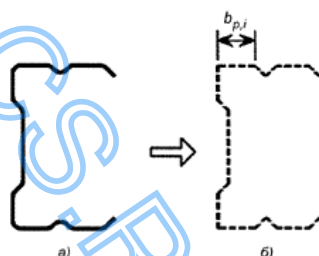
$I_{w,sh}$  - значение  $I_w$  для сечения с острыми углами;

$\varphi_j$  - угол между двумя плоскими элементами;

$m$  - количество плоских элементов;

$n$  - количество криволинейных элементов;

$r_j$  - внутренний радиус криволинейного  $j$ -го элемента.



а) - действительное поперечное сечение; б) - идеализированное поперечное сечение

Рисунок 7.4 - Приближенные допущения для углов сгиба

7.2.7 Уменьшенные значения, определяемые по формулам (7.5)-(7.8), могут также использоваться для расчета эффективных характеристик поперечного сечения  $A_{ef}$ ,  $I_{y,ef}$ ,  $I_{z,ef}$  и  $I_{w,ef}$ , с учетом того, что теоретическая ширина плоских элементов измеряется от точек пересечения их срединных линий.

7.2.8 Если внутренний радиус  $r > 0,04tE/R_{ym}$ , то несущую способность поперечного сечения профиля следует определять испытаниями.

### 7.3 Расчет тонкостенных профилей с учетом закритической работы сжатых пластин

#### 7.3.1 Метод определения редуцированных геометрических характеристик поперечных сечений элементов

7.3.1.1 При определении несущей способности и жесткости холодногнутых элементов и профилированных листов следует учитывать влияние потери местной устойчивости и устойчивости формы сжатой части поперечного сечения.

Редуцированную площадь поперечного сечения тонкостенного конструктивного элемента (пластинки)  $A_{red}$  после потери местной устойчивости определяют по формуле

$$A_{red} = \rho \cdot A. \quad (7.9)$$

7.3.1.2 Допускается не учитывать влияние кривизны более широкой сжатой полки профиля на несущую способность относительно проектной оси полки профиля при изгибе или полки изгибаемого арочного профиля, в котором наружная сторона сжата, если ее кривизна составляет менее 5% высоты сечения профиля, ее влияние см. на рисунке 7.5. Если кривизна больше, то следует учитывать снижение несущей способности, например, путем уменьшения свеса широких полок и путем учета возможного изгиба стенок.

7.3.1.3 Пример искривления сжатой и растянутой полки профиля с элементами жесткости и без них, прямолинейных до приложения нагрузки, показан на рисунке 7.5.



Рисунок 7.5 - Пример кривизны полки профиля, прямолинейного до приложения нагрузки

7.3.1.4 Кривизну сжатой полки (деформацию изгиба полки внутрь к нейтральной оси)  $u$  вычисляют по приведенным ниже формулам. Расчет применим для сжатых и растянутых полок с продольными элементами жесткости и без них, но не применим для полок с близко расположенными поперечными гофрами.

$$u = 2 \frac{\sigma_a^2 b_s^4}{E^2 t^2 z} \quad (7.10)$$

Для арочной балки:

$$u = 2 \frac{\sigma_a^2 b_s^4}{E^2 t^2 r} \quad (7.11)$$

где  $b_s$  - половина расстояния между стенками коробчатого и шляпного сечений или свес полки;

$t$  - толщина полки;

$z$  - расстояние от рассматриваемой полки до нейтральной оси;

$r$  - радиус кривизны арочной балки;

$\sigma_a$  - главное напряжение в полках, рассчитанное по полной площади.

Если напряжение рассчитано для эффективного поперечного сечения, главное напряжение определяется умножением данного напряжения на отношение эффективной площади полки к полной площади полки.

7.3.1.5 При определении несущей способности и жесткости холодногнутого профиля следует учитывать влияние потери местной устойчивости и устойчивости формы сечения как это показано для случаев, приведенных на рисунке 7.6.



Рисунок 7.6 - Примеры потери устойчивости формы сечения

7.3.1.6 Влияние потери устойчивости формы сечения должно учитываться для случаев, показанных на рисунках 7.6 а) - 7.6 г). В этих случаях влияние потери устойчивости формы сечения оценивается линейным или нелинейным расчетом на устойчивость численными методами или испытаниями коротких стоек. Упрощенный способ линейного расчета приведен в 7.3.2 и 7.3.3.

7.3.1.7 При постоянной толщине редуцируемого элемента редукция ведется за счет изменения ширины пластинки  $b_{gr} = \rho b$ , допускается также осуществлять редукцию изменением толщины  $t_{gr} = \rho t$ .

Для гладких сжатых пластин, имеющих закрепления на продольных кромках (например, стенка двутаврового или полка и стенка С-образного сечения), коэффициент редукции определяется:

$$\rho = 1,0 \text{ при } \bar{\lambda}_p \leq 0,673; \quad (7.12)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0; \text{ при } \bar{\lambda}_p > 0,673, \quad (7.13)$$

где  $(3 + \psi) \geq 0$ .

Для гладких пластин, имеющих закрепление на одной кромке, например, полка двутаврового, уголкового или швеллерного сечения (свес полки);

$$\rho = 1,0 \text{ для } \bar{\lambda}_p \leq 0,748; \quad (7.14)$$

$$= \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 \text{ для } \bar{\lambda}_p > 0,748, \quad (7.15)^*$$

\* Формула соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

где

$$\text{где } \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{R_y}{\sigma_{cr}}}. \quad (7.16)$$

Для гладких сжатых пластин, имеющих закрепления по двум продольным кромкам (например, стенки и полки С-образного сечения) или закрепленных по одной стороне (например, полки швеллеров или уголков), коэффициент редукции определяют в зависимости от критического напряжения потери устойчивости пластинки  $\sigma_{cr}$ :

$$\sigma_{cr} = k_\sigma \frac{\pi^2 E t^2}{12(1 - \nu^2) b^2}, \quad (7.17)$$

где  $k_\sigma$  - коэффициент, зависящий от граничных условий и характера напряжений в пластинке (приведен в таблицах 7.2 и 7.3);

$b$  - принимают равной соответствующей теоретической ширине пластинки ( $b_p, b_{p,c}, b_{p,d}$  или  $s_w$  - см. рисунок 7.3);

$t$  - расчетная толщина пластинки, принимаемая в соответствии с 7.1.5;

$\nu$  - коэффициент Пуассона (для стали  $\nu = 0,3$ ).

Для стальной пластинки формула для  $\bar{\lambda}_p$  приводится к виду:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{R_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{b}{28,4 t \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}, \quad (7.18)$$

$$\text{где } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{R_y}}.$$

В качестве альтернативы методу согласно 7.3.1.7 допускается для определения эффективных площадей при уровне сжимающих напряжений ниже расчетного сопротивления применять следующие формулы:

- для гладкой промежуточной сжатой пластины с двухсторонним закреплением

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_{p,c} - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_{p,c}^2} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,c})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)} \leq 1, \quad (7.19)$$

- для гладкой выступающей сжатой пластины с односторонним закреплением (свес листа)

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_{p,c} - 0,188}{\bar{\lambda}_{p,c}^2} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,c})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)} \leq 1, \quad (7.20)$$

$$\text{где } \bar{\lambda}_{p,c} = \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{\sigma_{cr}}}, \quad (7.20a)$$

$\sigma_{com}$  - реальные напряжения сжатия в редуцированном сечении пластинки от нагрузки (принимают максимальное значение напряжения сжатия в пластинке);

$\psi$  - отношение меньшего напряжения к большему, сжатие считается положительным.

Дополнить в конце подпункта абзацем в следующей редакции:

При использовании данного метода эффективное сечение профиля следует определять итерационно. Итерации начинают с полного сечения профиля и заканчивают, когда геометрические характеристики эффективного сечения на предыдущей и последующей итерации отличаются друг от друга незначительно (в пределах 1%-2%).

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.3.1.8 Для определения геометрических характеристик эффективного сечения ( $A_{ef}$ ,  $I_{ef}$ ,  $W_{ef}$ ) необходимо знать эффективную ширину  $b_{ef}$  и коэффициент  $k_{\sigma}$ , определяемые по формулам, приведенным в таблицах 7.2 и 7.3.

Таблица 7.2 - Пластины с двумя закрепленными кромками

Распределение напряжений (сжатие положительно)				Эффективная ширина $b_{ef}$		
				$\psi = 1$  $b_{ef} = \rho \cdot b$ $b_{e1} = 0,5b_{ef}$ $b_{e2} = 0,5b_{ef}$		
				$1 > \psi > 0$  $b_{ef} = \rho \cdot b$ $b_{e1} = \frac{2}{5-\psi} b_{ef}$ $b_{e2} = b_{ef} - b_{e1}$		
				$\psi < 0$  $b_{ef} = \rho \cdot b_c = \frac{\rho \cdot b}{1-\psi}$ $b_{e1} = 0,4b_{ef}$ $b_{e2} = 0,6b_{ef}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1^*$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Коэффициент $k_{\sigma}$	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98(1 - \psi)^2$
* $\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ - отношение меньшего напряжения к большему (с учетом знака) согласно эпюрам напряжений, показанным на рисунках в настоящей таблице и таблице 7.3 (сжатие считается положительным).						

Таблица 7.3 - Пластины с одной закрепленной кромкой

Распределение напряжений (сжатие положительно)	Эффективная ширина $b_{ef}$

		$1 > \psi > 0$ $b_{ef} = \rho c$			
		$\psi < 0$ $b_{ef} = \rho b_c = \frac{\rho c}{1 - \psi}$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1^*$	1	0	-1	$1 \geq \psi \geq -3$	
Коэффициент $k_\sigma$	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
		$1 > \psi > 0$ $b_{ef} = \rho c$			
		$\psi < 0$ $b_{ef} = \rho b_c = \frac{\rho c}{1 - \psi}$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1^*$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Коэффициент $k_\sigma$	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8
<p>* <math>\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}</math> - отношение меньшего напряжения к большему (с учетом знака) согласно эпюрам напряжений, показанным на рисунках в настоящей таблице и таблице 7.2 (сжатие считается положительным).</p>					

(Измененная редакция, Изм. N 2).

### 7.3.2 Пластины, усиленные продольными элементами жесткости

7.3.2.1 Для повышения жесткости и несущей способности пластины составляющие поперечное сечение профилей усиливают промежуточными и крайвыми элементами жесткости (см. рисунок 7.7).

7.3.2.2 Жесткость упругоподатливых связей, накладываемых на пластинку элементами жесткости, должна учитываться приложением погонной единичной нагрузки  $u$ , как показано на рисунке 7.7. Жесткость связей  $K$  на единицу длины вычисляют по формуле

$$K = u / \delta, \tag{7.21}$$

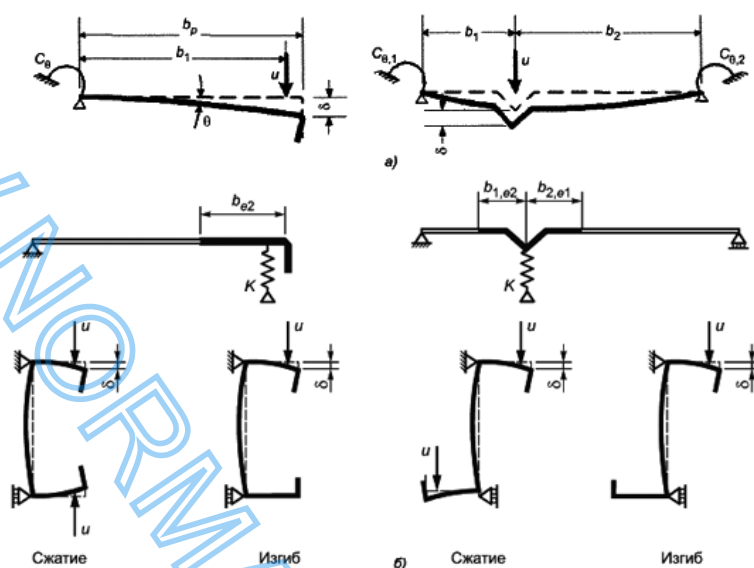
где  $\delta$  - перемещение элемента жесткости от единичной нагрузки  $u$ , действующей в центре тяжести  $b_1$  эффективной части поперечного сечения элемента жесткости на единицу длины профиля.

Для краевого элемента жесткости перемещение  $\delta$  определяют по формуле

$$\delta = \theta b_p + \frac{u b_p^3}{3} \cdot \frac{12(1 - \nu^2)}{Et^3}. \tag{7.22}$$

7.3.2.3 Поперечное сечение краевого отгиба состоит из вертикального элемента жесткости  $c$  или вертикального и

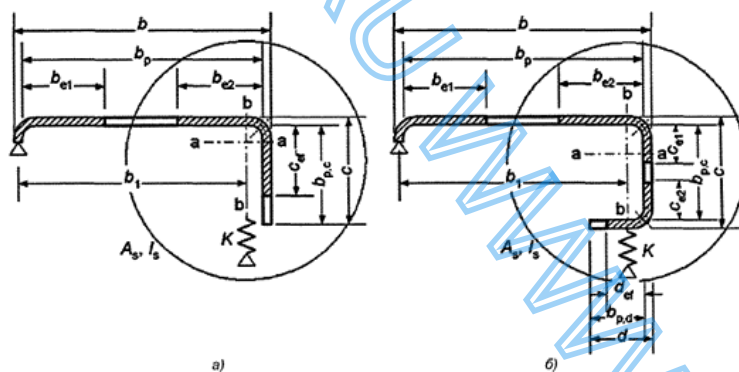
горизонтальных элементов  $c$  и  $d$ , как показано на рисунке 7.8, плюс примыкающая эффективная часть плоского участка  $b_p$  подкрепляемой пластинки.



а) - фактическая схема; б) - эквивалентная схема

Рисунок 7.7\* - Схемы к определению жесткости связей

\* (Измененная редакция, Изм. N 2).



а) - одинарный краевой отгиб ( $b/t \leq 60$ ); б) - двойной краевой отгиб ( $b/t \leq 90$ )

Рисунок 7.8 - Краевые отгибы

7.3.2.4 Расчет краевых отгибов полков С- и Z-образных и подобных им сечений профилей, состоящих из стенки и верхней и нижней полков, должен начинаться с определения эффективной ширины сжатых полков с элементами жесткости в виде отгибов или двойных отгибов, параметры  $c$  или  $c$  и  $d$  для двойного отгиба определяют по 7.3.1.

Начальное эффективное сечение сжатой полки, определяется в предположении, что жесткость, накладываемая краевым отгибом на полку  $K = \infty$  и напряжение равно  $R_y$ .

7.3.2.5 Начальные значения эффективной ширины  $b_{e1}$  и  $b_{e2}$ , приведенные на рисунках 7.7, 7.8, определяют по 7.3.1.7 с допущением, что плоский элемент ( $b_p$ ) оперт по двум сторонам.

7.3.2.6 Начальные значения эффективной ширины  $c_{ef}$  и  $d_{ef}$ , приведенные на рисунке 7.8, следует определять следующим образом:

а) для одинарного краевого отгиба:

$$c_{ef} = \rho b_{p,c}, \quad (7.23)$$

где  $\rho$  определяют с учетом коэффициента потери устойчивости  $k_{\sigma}$ :

$$k_{\sigma} = 0,5, \text{ если } b_{p,c} / b_p \leq 0,35;$$

$$k_{\sigma} = 0,5 + 0,83 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{b_{p,c}}{b_p} - 0,35\right)^2}, \text{ если } 0,35 < b_{p,c} / b_p \leq 0,60;$$

б) для двойного краевого отгиба:

$$c_{ef} = \rho b_{p,c}, \quad (7.24)$$

где  $\rho$  определяют по 7.3.1.7 с учетом коэффициента потери устойчивости  $k_{\sigma}$ , как для пластинки, опертой по двум сторонам;

$$d_{ef} = \rho b_{p,d}, \quad (7.25)$$

где  $\rho$  определяют по 7.3.1.6 с учетом коэффициента  $k_{\sigma}$ , как для пластинки, опертой по одной стороне.

Площадь начального расчетного поперечного сечения  $A_s$  краевого отгиба определяют по формулам:

$$A_s = t(b_{e2} + c_{ef}), \quad (7.26)$$

или

$$A_s = t(b_{e2} + c_{e1} + c_{e2} + d_{ef}). \quad (7.27)$$

Примечание - При необходимости учитывают закругления.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.3.2.7 Коэффициент снижения несущей способности  $\chi_d$  вследствие потери устойчивости формы сечения (плоская форма потери устойчивости краевого элемента жесткости) определяют в зависимости от значения  $\sigma_{cr,s}$ . Критическое напряжение потери устойчивости краевого отгиба в упругой стадии  $\sigma_{cr,s}$  определяют по формуле

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2 \cdot \sqrt{K_1 EI_s}}{A_s}, \quad (7.28)$$

где  $K_1$  - жесткость упругоподатливой связи;

$I_s$  - момент инерции начального расчетного сечения краевого элемента жесткости относительно оси *a-a* (включая примыкающие к нему устойчивые участки пластин) - рисунок 7.8;

$A_s$  - площадь начального расчетного сечения краевого элемента жесткости (включая примыкающие к нему устойчивые участки пластин) - рисунок 7.8.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.3.2.8 Для краевых элементов жесткости выражение жесткости связи  $K_1$  для сжатой полки вычисляют по формуле

$$K_1 = \frac{Et^3}{4(1-\nu^2)} \cdot \frac{1}{b_1^2 h_w + b_1^3 + 0,5 h_w k_f b_1 b_2}, \quad (7.29)$$

где  $b_1$  - расстояние от центральной оси стенки до центра тяжести начального расчетного сечения краевого отгиба (включая устойчивую часть  $b_{e2}$  полки) на полке 1 (см. рисунок 7.8);

$b_2$  - расстояние от центральной оси стенки до центра тяжести начального расчетного сечения краевого отгиба (включая устойчивую часть полки) на полке 2;

$h_w$  - высота стенки между серединными линиями полок;

$k_f = 0$  - если полка 2 растянута (т.е. для элемента, изгибаемого относительно оси *x-x*);

$k_f = 1$  - для сжатого симметричного сечения;

$k_f = A_{s2} / A_{s1}$  - если полка 2 сжата (для сжатого несимметричного сечения);

$A_{s1}$  и  $A_{s2}$  - площади начальных расчетных сечений краевых отгибов (включая примыкающие к ним устойчивые участки пластин) для полок 1 и 2 соответственно (см. рисунок 7.8).

Примечание - За полку 1 принимается та полка, для которой определяется жесткость упругоподатливой связи  $K_1$ .

Для промежуточного элемента жесткости перемещение  $\delta$  определяют по формуле

$$\delta = \frac{ub_1^2 b_2^2}{3(b_1 + b_2)} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{Et^3}; \quad (7.30)$$

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.3.2.9 Коэффициент снижения несущей способности ребра  $\chi_d$  вследствие плоской формы потери устойчивости элемента жесткости следует определять с учетом относительной гибкости  $\bar{\lambda}_d$  следующим образом:

$$\chi_d = 1,0, \text{ если } \bar{\lambda}_d \leq 0,65; \quad (7.31)$$

$$\chi_d = 1,47 - 0,723\bar{\lambda}_d, \text{ если } 0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38; \quad (7.32)$$

$$\chi_d = \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d}, \text{ если } \bar{\lambda}_d \geq 1,38, \quad (7.33)$$

где  $\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{R_y}{\sigma_{cr,s}}}$ .

$\sigma_{cr,s}$  - критическое напряжение в упругой стадии для элементов жесткости, определяемое по формуле (7.28).

Как вариант, критическое напряжение элемента жесткости может быть определено на основании расчета устойчивости первого порядка в упругой стадии с использованием численных расчетов.

7.3.2.10 Эффективную площадь элемента жесткости  $A_{s,red}$ , с учетом плоской формы потери устойчивости, определяют по формуле

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \sqrt{\frac{R_y}{\sigma_{com,s}}} \leq A_s, \quad (7.34)$$

где  $\sigma_{com,s}$  - сжимающее напряжение вдоль центральной оси элемента жесткости, рассчитанное для эффективного поперечного сечения.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.3.2.11 При определении геометрических характеристик эффективного поперечного сечения эффективная площадь  $A_{s,red}$  должна быть определена с учетом уменьшенной толщины  $t_{red}$  для всех элементов, включенных в  $A_s$ .

При этом уменьшенную толщину  $t_{red}$  определяют по формулам:

$$t_{red} = t \cdot \frac{A_{s,red}}{A_s}; \quad (7.34a)$$

$$t_{red} = \chi_d \cdot t \text{ при } \sigma_{com,s} = R_y \quad (7.34б)$$

$$t_{red} = \chi_d \cdot t \cdot \sqrt{\frac{R_y}{\sigma_{com,s}}} \leq t \text{ при } \sigma_{com,s} < R_y. \quad (7.34в)$$

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.3.2.12 Последовательность проведения расчета полок тонкостенных профилей с элементами жесткости в виде отгибов приведена в приложении Б.



### 7.3.3 Сжатые пластинки с промежуточными элементами жесткости

7.3.3.1 Промежуточные элементы жесткости устанавливают в середине пластинок, закрепленных по двум продольным сторонам. В поперечное сечение промежуточного элемента жесткости включают сам элемент жесткости и примыкающие к нему участки эффективных частей пластинки  $b_{p,1}$  и  $b_{p,2}$ , показанных на рисунке 7.9.

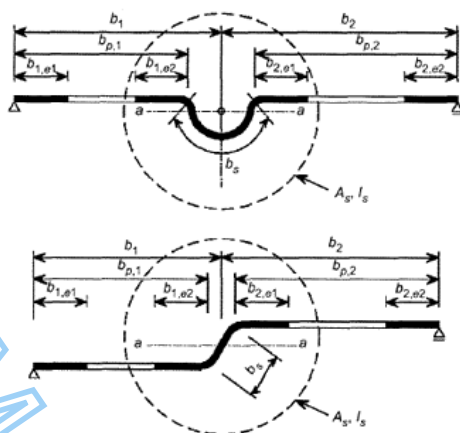


Рисунок 7.9 - Промежуточные элементы жесткости

7.3.3.2 При расчете промежуточного элемента жесткости определяют начальное расчетное сечение элемента жесткости с использованием эффективной ширины пластин, примыкающих к нему, определяемой с учетом того, что элемент жесткости обеспечивает полное защемление  $K = \infty$  и напряжение в нем равно  $R_y$ .

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.3.3.3 Начальные значения эффективной ширины  $b_{1,e2}$  и  $b_{2,e1}$ , показанные на рисунке 7.9, следует определять с допущением, что плоские элементы  $b_{p,1}$  и  $b_{p,2}$  оперты по двум сторонам (см. таблицу 7.2).

7.3.3.4 Площадь начального расчетного поперечного сечения  $A_s$  промежуточного элемента жесткости определяют по формуле

$$A_s = t \cdot (b_{1,e2} + b_{2,e1} + b_s), \quad (7.35)$$

где  $b_s$  - ширина элемента жесткости, показанная на рисунке 7.8.

Примечание - При необходимости учитывают закругления углов.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.3.3.5 Критическое напряжение потери устойчивости промежуточного элемента жесткости  $\sigma_{cr,s}$  определяется по формуле

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2 \sqrt{KEI_s}}{A_s}, \quad (7.36)$$

где  $K$  - жесткость упругоподатливой связи;

$I_s$  - момент инерции начального расчетного сечения промежуточного элемента жесткости относительно оси  $a-a$  (включая примыкающие к нему устойчивые участки пластин) - рисунок 7.9;

$A_s$  - площадь начального расчетного сечения промежуточного элемента жесткости (включая примыкающие к нему устойчивые участки пластин) - рисунок 7.9.

Для промежуточного элемента жесткости значения коэффициента  $K$  вычисляют по формуле

$$K = \frac{(b_1 + b_2) E t^3}{4 b_1^2 b_2^2 (1 - \nu^2)}. \quad (7.37)$$

Критическое напряжение потери устойчивости элемента жесткости  $\sigma_{cr,s}$  может быть определено на основании расчета устойчивости первого порядка в упругой стадии с использованием численных расчетов.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.3.3.6 Коэффициент снижения несущей способности  $\chi_d$  вследствие потери устойчивости формы сечения (плоская форма потери устойчивости промежуточного элемента жесткости) определяют в зависимости от значения  $\sigma_{cr,s}$  (см. 7.3.2.7).

7.3.3.7 Эффективную площадь элемента жесткости  $A_{s,red}$ , вызванную потерей устойчивости формы сечения (плоская форма потери устойчивости элемента жесткости), определяют по 7.3.2.10 и формуле (7.34).

(7.38)\*

(Исключена, Изм. N 2).

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.3.3.8 При определении геометрических характеристик эффективного поперечного сечения промежуточного элемента жесткости эффективную площадь  $A_{s,red}$  следует определять с учетом уменьшенной толщины  $t_{red}$  для всех элементов, включенных в  $A_s$ , по 7.3.2.11 и формулам (7.34а)-(7.34в).

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.3.3.9 (Исключен, Изм. N 2).

7.3.3.10 Последовательность проведения расчета тонкостенных профилей с промежуточными элементами жесткости приведена в приложении Б.

## 7.4 Трапециевидные гофрированные листы с промежуточными элементами жесткости

### 7.4.1 Общие положения

Требования настоящего подраздела распространяются на трапециевидные гофрированные листы с полками и стенками, имеющими промежуточные элементы жесткости.

### 7.4.2 Полки с промежуточными элементами жесткости

7.4.2.1 Элементы жесткости в виде полукруглых или треугольных канавок включают в себя сам элемент жесткости и примыкающие к нему устойчивые участки  $b_{ef}$  ( $b_{1,ef}$ ,  $b_{2,ef}$ ) плоских участков полки  $b_p$  ( $b_{p,1}$ ,  $b_{p,2}$ ), как показано на рисунках 7.10 и 7.11.

При одном центральном элементе жесткости полки критическое напряжение  $\sigma_{cr,s}$  потери устойчивости в упругой стадии определяют по формуле

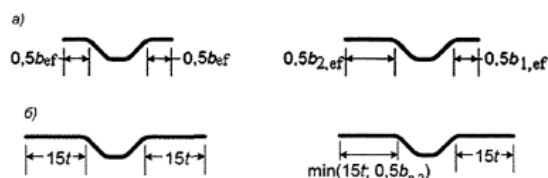
$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{4b_p^2(2b_p + 3b_s)}}, \quad (7.39)$$

где  $b_p$  - теоретическая ширина плоского элемента, показанная на (см. рисунок 7.11);

$b_s$  - ширина элемента жесткости, измеренная по его периметру (см. рисунок 7.11);

$A_s$  и  $I_s$  - площадь поперечного сечения и момент инерции сечения элемента жесткости (см. рисунок 7.10).

Формула (7.39) может быть использована для элементов жесткости в виде широких гофров (канавок), плоская часть которых уменьшена из условия потери местной устойчивости, а для  $b_p$  в формуле (7.39) берется большее из значений  $b_p$  или  $0,25(3b_p + b_y)$  (см. рисунок 7.11). Подобный метод применим для полок с двумя или несколькими широкими гофрами.



а) - поперечное сечение для расчета  $A_s$ ; б) - поперечное сечение для расчета  $I_s$

Рисунок 7.10 - Включение в ребро жесткости примыкающих участков полки

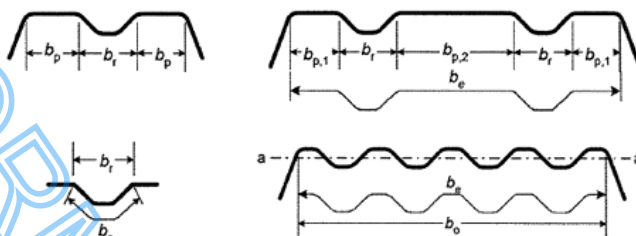


Рисунок 7.11 - Сжатая полка с одним, двумя или несколькими элементами жесткости

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.4.2.2 При двух симметрично расположенных элементах жесткости полки критическое напряжение  $\sigma_{cr,s}$  потери устойчивости в пределах упругости вычисляют по формуле

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{8b_1^2(3b_e - 4b_1)}}, \quad (7.40)$$

где  $b_e = 2b_{p,1} + b_{p,2} + 2b_s$ ;  $b_1 = b_{p,1} + 0,5b_r$ ,

здесь  $b_{p,1}$  - теоретическая ширина крайнего плоского элемента (см. рисунок 7.11);

$b_{p,2}$  - теоретическая ширина среднего плоского элемента (см. рисунок 7.11);

$b_r$  - общая ширина элемента жесткости (см. рисунок 7.11);

$A_s$  и  $I_s$  - площадь поперечного сечения и момент инерции поперечного сечения элемента жесткости (см. рисунок 7.10).

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.4.2.3 Для нескольких элементов жесткости на полке (трех или более одинаковых) эффективную площадь всей полки  $A_{ef}$  вычисляют по формуле

$$A_{ef} = \rho b_e t \quad (\text{см. таблицы 7.2 и 7.3}), \quad (7.41)$$

где  $\rho$  - понижающий коэффициент, соответствующий гибкости  $\bar{\lambda}_p$ , основанной на напряжении потери устойчивости в упругой стадии:

$$\sigma_{cr,s} = 1,8E \sqrt{\frac{I_s t^3}{b_0^2 b_e^3} + 3,6 \frac{Et^2}{b_0^2}}, \quad (7.42)$$

где  $I_s$  - суммарный момент инерции элементов жесткости относительно центральной оси  $a-a$  без учета слагаемого  $b_e t^3 / 12$ ;

$b_0$  - ширина полки в проекции (см. рисунок 7.11);

$b_e$  - развернутая ширина полки (см. рисунок 7.11).

7.4.2.4 Если стенки поперечного сечения не усилены элементами жесткости, то значения понижающего коэффициента  $\rho$  следует определять, используя  $\sigma_{cr,s}$  и методику, приведенную в 7.3.2.9.

(Введен дополнительно, Изм. N 2).

7.4.2.5 При усилении стенок элементами жесткости значения понижающего коэффициента  $\chi_d$  следует определять по методике, приведенной в 7.3.2.9, с учетом модифицированного критического напряжения  $\sigma_{cr,mod}$  в пределах упругой работы материала.

(Введен дополнительно, Изм. N 2).

7.4.2.6 При определении геометрических характеристик эффективного сечения эффективную площадь элемента жесткости полки  $A_{s,red}$  следует определять с учетом уменьшенной толщины  $t_{red}$  в соответствии с 7.3.2.10 и 7.3.2.11.

(Введен дополнительно, Изм. N 2).

7.4.2.7 Геометрические характеристики эффективного сечения при расчете по второй группе предельных состояний допускается определять, используя расчетную толщину  $t$ .

(Введен дополнительно, Изм. N 2).

## 7.5 Стенки гофров с элементами жесткости в количестве не более двух

7.5.1 Эффективное поперечное сечение стенки, как показано на рисунке 7.12, должно включать в себя:

- полосу шириной  $s_{ef,1}$ , примыкающую к сжатой полке;
- уменьшенную (эффективную) площадь  $A_{s,red}$  каждого из элементов жесткости на стенке при их количестве не более двух;
- примыкающую к центральной оси эффективного сечения полосу шириной  $s_{ef,n}$ ;
- растянутую часть стенки.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.5.2 Площадь начального расчетного сечения элементов жесткости должна определяться следующим образом:

- для одного элемента жесткости или для элемента жесткости, ближайшего к сжатой полке

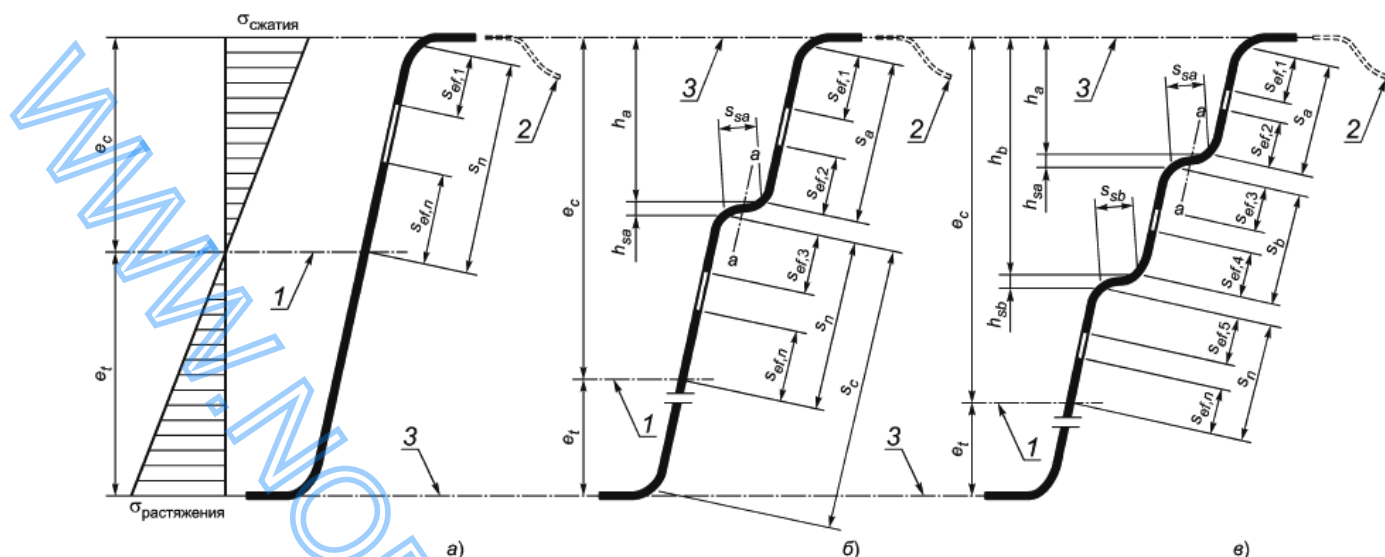
$$A_{sa} = t \cdot (s_{ef,2} + s_{ef,3} + s_{sa}); \quad (7.43)$$

- для второго элемента жесткости

$$A_{sb} = t \cdot (s_{ef,4} + s_{ef,5} + s_{sb}); \quad (7.44)$$

где размеры  $s_{ef,1}$ , ...,  $s_{ef,n}$ ,  $s_{sa}$  и  $s_{sb}$  показаны на рисунке 7.12.

(Измененная редакция, Изм. N 2).



1 - первоначальное положение нейтральной оси в сечении гофрированных листов с эффективным сечением полок и полной площадью стенок; 2 - участки эффективного поперечного сечения сжатых полок с промежуточными элементами жесткости; 3 - центральная ось полки; а) - сечение гофрированного листа со стенкой без элементов жесткости; б) - сечение гофрированного листа со стенкой с одним элементом жесткости в сжатой зоне; в) - сечение гофрированного листа со стенкой с двумя элементами жесткости в сжатой зоне

Рисунок 7.12 - Эффективные поперечные сечения стенок гофрированных листов\*

\* Измененная редакция, Изм. N 2.

7.5.3 Первоначальное положение эффективной нейтральной оси следует определять, используя эффективные сечения горизонтальных полок и полное поперечное сечение стенок. В этом случае базовую эффективную ширину стенки  $s_{ef,0}$  определяют по формуле

$$s_{ef,0} = 0,76 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{com}}}, \quad (7.45)$$

где  $\sigma_{com}$  - напряжение в сжатой полке, рассчитанное для эффективного поперечного сечения (допускается принимать равным  $R_y$ ).  
(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.5.4 Если стенка неустойчива ( $\sigma_{com} > \sigma_{cr}$ ), то размеры от  $s_{ef,1}$  до  $s_{ef,n}$  определяют следующим образом:

$$s_{ef,1} = s_{ef,0}; \quad (7.46)$$

$$s_{ef,2} = (1 + 0,5h_a / e_c) s_{ef,0}; \quad (7.47)$$

$$s_{ef,3} = [1 + 0,5(h_a + h_{sa}) / e_c] s_{ef,0}; \quad (7.48)$$

$$s_{ef,4} = (1 + 0,5h_b / e_c) s_{ef,0}; \quad (7.49)$$

$$s_{ef,5} = [1 + 0,5(h_b + h_{sb}) / e_c] s_{ef,0}; \quad (7.50)$$

$$s_{ef,n} = 1,5s_{ef,0}, \quad (7.51)$$

где  $e_c$  - расстояние от эффективной нейтральной оси до центральной линии сжатой полки (см. рисунок 7.12).

$h_a$ ,  $h_b$ ,  $h_{sa}$  и  $h_{sb}$  - размеры, показанные на рисунке 7.12.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.5.5 Размеры  $s_{ef,1}$ , ...,  $s_{ef,n}$  следует изначально определять по формулам (7.46)-(7.51), а затем, если рассматриваемый плоский элемент устойчив ( $\sigma_{com} < \sigma_{cr}$ ), корректировать с учетом следующих положений:

- для стенки без элементов жесткости, если  $s_{ef,1} + s_{ef,n} \geq s_n$  и вся стенка устойчива, то в эффективную площадь стенки включают:

$$s_{ef,1} = 0,4s_n; \quad (7.52)$$

$$s_{ef,n} = 0,6s_n; \quad (7.53)$$

- для стенки, усиленной элементом жесткости, если  $s_{ef,1} + s_{ef,2} \geq s_a$  и часть стенки  $s_a$  устойчива, то в эффективную площадь стенки включают:

$$s_{ef,1} = \frac{s_a}{2 + 0,5 \frac{h_a}{e_c}}; \quad (7.54)$$

$$s_{ef,2} = s_a \frac{\left(1 + 0,5 \frac{h_a}{e_c}\right)}{\left(2 + 0,5 \frac{h_a}{e_c}\right)}; \quad (7.55)$$

- для стенки с одним элементом жесткости, если  $s_{ef,3} + s_{ef,n} \geq s_n$  и часть стенки  $s_n$  устойчива, то в эффективную площадь стенки включают:

$$s_{ef,3} = s_n \frac{\left[1 + 0,5 \frac{(h_a + h_{sa})}{e_c}\right]}{2,5 + 0,5 \frac{(h_a + h_{sa})}{e_c}}; \quad (7.56)$$

$$s_{ef,n} = \frac{1,5s_n}{2,5 + 0,5 \frac{(h_a + h_{sa})}{e_c}}; \quad (7.57)$$

- для стенки с двумя элементами жесткости:

если  $s_{ef,3} + s_{ef,4} \geq s_b$  и часть стенки  $s_b$  устойчива, то в эффективную площадь стенки включают:

$$s_{ef,3} = s_b \frac{\left[1 + 0,5 \frac{(h_a + h_{sa})}{e_c}\right]}{2,0 + 0,5 \frac{(h_a + h_{sa} + h_b)}{e_c}}; \quad (7.58)$$

$$s_{ef,4} = s_b \frac{1 + 0,5 \frac{h_b}{e_c}}{2,0 + 0,5 \frac{(h_a + h_{sa} + h_b)}{e_c}}; \quad (7.59)$$

если  $s_{ef,5} + s_{ef,n} \geq s_n$  и часть стенки  $s_n$  устойчива, то в эффективную площадь стенки включают:

$$s_{ef,5} = s_n \frac{\left[1 + 0,5 \frac{(h_b + h_{sb})}{e_c}\right]}{2,5 + 0,5 \frac{(h_b + h_{sb})}{e_c}}; \quad (7.60)$$

$$s_{ef,n} = \frac{1,5s_n}{2,5 + 0,5 \frac{(h_b + h_{sb})}{e_c}}. \quad (7.61)$$

7.5.6 Для одиночного элемента жесткости или для элемента жесткости, ближайшего к сжатой полке, в стенке с двумя элементами жесткости критическое напряжение потери устойчивости  $\sigma_{cr,sa}$  в упругой стадии вычисляют по формуле

$$\sigma_{cr,sa} = \frac{1,05E \sqrt{I_s I^3 s_1}}{A_{sa} s_2 (s_1 - s_2)}, \quad (7.62)$$

где  $s_1$  и  $s_2$  вычисляют по формулам:

- для одиночного элемента жесткости

$$s_1 = 0,9 \cdot (s_a + s_{sa} + s_c); \quad (7.63)$$

- для элемента жесткости, ближайшего к сжатой полке, в стенке с двумя элементами жесткости

$$s_1 = s_a + s_{sa} + s_b + 0,5(s_{sb} + s_c), \quad (7.64)$$

$$s_2 = s_1 - s_a - 0,5s_{sa}, \quad (7.65)$$

здесь  $s_c$  - размер, показанный на рисунке 7.12;

$I_s$  - момент инерции поперечного сечения элемента жесткости, включающего ширину выступа по образующей  $s_{sa}$  и два примыкающих участка стенки шириной  $s_{sf,1}$  каждый, относительно собственной центральной оси, параллельной плоскости элементов стенки (см. рисунок 7.13).

При определении  $I_s$  возможное различие уклонов плоских элементов стенки по обе стороны от элемента жесткости допускается не учитывать.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.5.7 Эффективную площадь одиночного сжатого элемента жесткости стенки или элемента жесткости, ближайшего к сжатой полке,  $A_{sa,red}$  определяют по формуле

$$A_{sa,red} = \chi_d A_{sa} \sqrt{\frac{R_y}{\sigma_{com} \left(1 - \frac{h_a + 0,5h_{sa}}{e_c}\right)}}; \text{ но } A_{sa,red} \leq A_{sa}. \quad (7.66)$$

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.5.8 Если сжатые полки поперечного сечения не усилены элементами жесткости, то значения понижающего коэффициента  $\chi_d$  для одиночного сжатого элемента жесткости стенки или элемента жесткости, ближайшего к сжатой полке, следует определять, используя  $\sigma_{cr,sa}$  и методику, приведенную в 7.3.2.9.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.5.9 При усилении сжатых полок поперечного сечения элементами жесткости значения понижающего коэффициента  $\chi_d$  для одиночного сжатого элемента жесткости стенки или элемента жесткости, ближайшего к сжатой полке, следует определять по методике, приведенной в 7.3.2.9, с учетом модифицированного критического напряжения  $\sigma_{cr,mod}$ , определяемого по формуле (7.67), в пределах упругой работы материала.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.5.10 Для одиночного растянутого элемента жесткости площадь сечения следует принимать равной  $A_{sa}$ .

7.5.11 Для стенок с двумя элементами жесткости эффективная площадь  $A_{sb,red}$  для второго элемента жесткости следует принимать равной  $A_{sb}$ .

7.5.12 При определении геометрических характеристик эффективного сечения эффективную площадь одиночного сжатого элемента жесткости стенки или элемента жесткости, ближайшего к сжатой полке,  $A_{sa,red}$  следует определять с учетом уменьшенной толщины  $t_{red}$  для всех элементов, включенных в  $A_{sa}$ .

При этом уменьшенную толщину  $t_{red}$  определяют по формулам:

$$t_{red} = \chi_d t \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{h_a + 0,5h_{sa}}{e_c}}} \leq t \quad (\text{при } \sigma_{com} = R_y), \quad (7.66a)$$

$$t_{red} = \chi_d t \sqrt{\frac{1}{\sigma_{com} \left(1 - \frac{h_a + 0,5h_{sa}}{e_c}\right)}} \leq t \quad (\text{при } \sigma_{com} < R_y). \quad (7.66b)$$

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.5.13 Геометрические характеристики эффективного поперечного сечения элементов жесткости при расчете по второму предельному состоянию допускается определять с учетом расчетной толщины  $t$ .

(Измененная редакция, Изм. N 2).

## 7.6 Гофрированные листы с элементами жесткости на полках и стенках

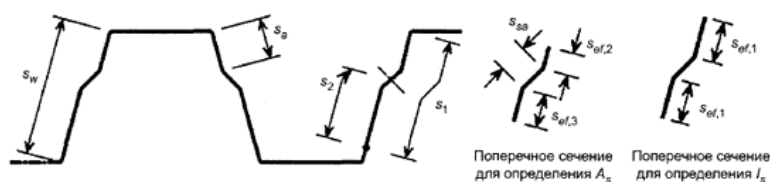


Рисунок 7.13 - Элементы жесткости стенок для трапециевидных гофрированных листов

7.6.1 Для гофрированных листов с промежуточными элементами жесткости на полках и стенках (см. рисунок 7.14) взаимодействие между потерей устойчивости формы сечения (плоская форма потери устойчивости элементов жесткости пояса и стенки) следует учитывать с использованием уточненного значения критического напряжения  $\sigma_{cr,mod}$  для обоих типов элементов жесткости в упругой стадии работы, определенное по формуле

$$\sigma_{cr,mod} = \frac{\sigma_{cr,s}}{\sqrt[4]{1 + \left( \beta_s \frac{\sigma_{cr,s}}{\sigma_{cr,sa}} \right)^4}}, \quad (7.67)$$

где  $\sigma_{cr,s}$  - критическое напряжение в упругой стадии для промежуточного элемента жесткости полки, см. 7.4.2.2 для полки с одним элементом или 7.4.2.3 для полки с двумя элементами жесткости;

$\sigma_{cr,sa}$  - критическое напряжение в упругой стадии для одиночного элемента жесткости стенки или элемента жесткости, ближайшего к сжатой полке, в стенке с двумя элементами жесткости (см. 7.5.6);

$$\beta_s = 1 - \frac{h_a + 0,5h_{sa}}{e_c} \text{ - для изгибаемого профиля;}$$

$$\beta_s = 1 \text{ - для центрально сжатого профиля.}$$

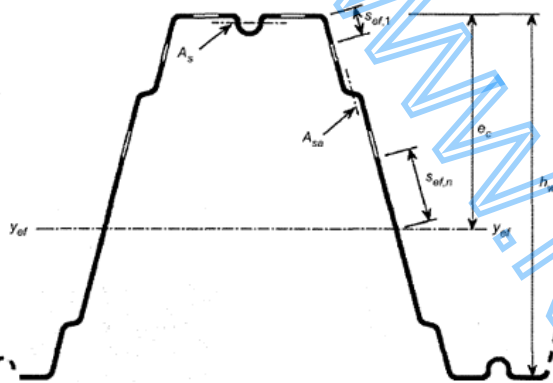


Рисунок 7.14 - Трапециевидный гофрированный лист с элементами жесткости на полках и стенках

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.6.2 При расчете гофрированных профилей, приведенных в ГОСТ 24045, допускается вычислять коэффициенты  $\chi_d$  элементов жесткости полок и стенок, используя  $\sigma_{cr,s}$  вместо  $\sigma_{cr,mod}$ . Для иных гофрированных профилей, работающих на изгиб, с элементами жесткости на полках и стенках допускается вычислять коэффициенты  $\chi_d$ , используя  $\sigma_{cr,s}$  вместо  $\sigma_{cr,mod}$ , если выполняется условие:  $\sigma_{cr,s} < \sigma_{cr,sa}$ .

(Введен дополнительно, Изм. N 2).

## 7.7 Предельные состояния первой группы



### 7.7.1 Общие положения

При определении несущей способности поперечного сечения вместо расчета на прочность по предельным состояниям при проектировании могут быть использованы результаты экспериментальных исследований.

Примечание - Проектирование, основанное на результатах экспериментальных исследований, предпочтительно для оценки несущей способности сечений с относительно высоким отношением  $b_y / t$  при искривлениях стенки или при учете влияния сдвига.

При выполнении расчетов влияние местной потери устойчивости элементов должно учитываться путем использования геометрических характеристик эффективного сечения, определяемого согласно 7.3-7.6.

### 7.7.2 Элементы центрально растянутые и сжатые

7.7.2.1 Расчетную несущую способность поперечного сечения по прочности при осевом растяжении  $N$  вычисляют по формуле

$$\frac{N}{A_{gn} R_y \gamma_c} \leq 1; \quad (7.68)$$

7.7.2.2 Если эффективная площадь нетто  $A_{ef,n}$  профиля менее, чем полная площадь поперечного сечения нетто  $A_{gn}$ , прочность при центральном сжатии стержней вычисляют по формуле

$$\frac{N}{A_{ef,n} R_y \gamma_c} \leq 1. \quad (7.69)$$

7.7.2.3 Если центр тяжести эффективного поперечного сечения не совпадает с центром тяжести полного сечения, то следует учитывать момент от смещения центральных осей  $x$ - $x$  и  $y$ - $y$  относительно положения оси действия силы (см. рисунок 7.15).

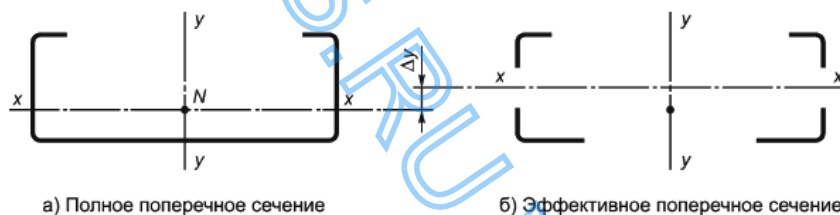


Рисунок 7.15 - Эффективное поперечное сечение при сжатии

Дополнительные моменты  $\Delta M_x$  и  $\Delta M_y$  от смещения центральных осей определяют по формулам:

$$\Delta M_x = N \cdot \Delta y, \quad (7.70)$$

$$\Delta M_y = N \cdot \Delta x, \quad (7.71)$$

где  $\Delta y$  и  $\Delta x$  - смещение центральных осей  $x$ - $x$  и  $y$ - $y$  относительно осевых усилий.

Допускается не учитывать эксцентриситет в следующих случаях:

- если эксцентриситет менее 1,5% размера сечения в направлении эксцентриситета;
- если учет эксцентриситета приводит к более благоприятному результату при определении напряжений.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.2.4 Расчет на прочность сечений в местах крепления растянутых элементов из одиночных уголков, прикрепляемых одной полкой болтами или другими нагельными креплениями, и одиночного растянутого уголка с пределом текучести до 380 Н/мм<sup>2</sup>, прикрепляемого одной полкой болтами, поставленными в один ряд по оси, расположенной на расстоянии не менее  $0,5b$  ( $b$  - ширина полки уголка) от обушка уголка и не менее  $1,2d$  ( $d$  - диаметр отверстия для болта с учетом положительного допуска) от пера уголка, следует выполнять по формуле".

$$\frac{N}{A_{ef,n} R_u} \cdot \frac{\gamma_u}{\gamma_{c1}} \leq 1; \quad (7.72)$$

$$\text{где } \gamma_{c1} = \left( \frac{\alpha_1 A_{n1}}{A_{ef,n}} + \alpha_2 \right) \beta;$$

здесь  $A_{ef,n}$  - эффективная площадь уголка нетто;

$A_{n1}$  - часть сечения прикрепляемой полки уголка между краем отверстия и пером;

$\alpha_1, \alpha_2, \beta$  - принимаются по СП 16.13330.2017 (таблица 6);

$\gamma_u$  - коэффициент надежности, в расчетах по временному сопротивлению  $\gamma_u = 1,3$ .

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.2.5 Ветви составных стержней на расчетной длине, равной расстоянию между планками, должны быть проверены на плоскую (продольный изгиб), крутильную и изгибно-крутильную формы потери устойчивости.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.2.6 Расчет составных сечений из уголков, швеллеров, С-образных и  $\Sigma$ -образных профилей, соединенных вплотную или через прокладки, следует выполнять как сплошностенчатых при условии, что участки между соединяющими сварными швами или центрами крайних болтов не превышают  $30i$  - для сжатых элементов и  $70i$  - для растянутых. При этом дополнительно ветви сжатых составных сечений следует проверять на плоскую, крутильную либо изгибно-крутильную формы потери устойчивости при центральном сжатии. При наличии в сечении ветвей дополнительных моментов  $\Delta M_{x(y)}$ , возникающих от смещения центра тяжести сечения при редукации, следует выполнять проверку ветвей на потерю устойчивости при сжатии с изгибом в соответствии с 7.7.10.3 и 7.7.10.4. Расчетную длину ветви следует принимать равной расстоянию между планками или узлами решетки.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.2.7 Расчет распорок, уменьшающих расчетную длину сжатых элементов, следует выполнить на усилие, равное условной поперечной силе  $Q_u$  в основном сжатом элементе по формуле

$$Q_u = \gamma_c \cdot 7,15 \cdot 10^{-6} \left( 2330 - \frac{E}{R_y} \right) \frac{N}{\varphi}, \quad (7.73)$$

где  $N$  - полное продольное усилие в сквозном стержне;

$\varphi$  - коэффициент устойчивости при центральном сжатии составного стержня.

### 7.7.3 Расчет элементов при изгибе

7.7.3.1 Расчет поперечного сечения по прочности при действии изгибающего момента относительно одной из главных осей  $M_{x(y)}$  выполняют следующим образом:

- если момент сопротивления эффективного сечения  $W_{ef,x(y),min}$  менее, чем момент сопротивления полного упругого сечения  $W_{g,x(y),min}$

$$\frac{M_{x(y)}}{W_{ef,x(y),min} R_y \gamma_c} \leq 1; \quad (7.74)$$

- если момент сопротивления эффективного сечения  $W_{ef,x(y),min}$  равен моменту сопротивления полного упругого сечения  $W_{g,x(y),min}$

$$\frac{M_{x(y)}}{W_{g,x(y),min} R_y \gamma_c} \leq 1. \quad (7.75)$$

При изгибе в двух главных плоскостях

$$\frac{M_x}{W_{ef,x} R_y \gamma_c} + \frac{M_y}{W_{ef,y} R_y \gamma_c} \leq 1,0, \quad (7.76)$$

где  $W_{ef,x(y)}$  - момент сопротивления эффективного сечения относительно осей x-x или y-y, вычисленный для соответствующей точки сечения.

В формуле (7.76) необходимо учитывать знаки напряжений, вызываемых изгибающими моментами  $M_x$  и  $M_y$  в

соответствующих точках поперечного сечения, для нахождения максимального напряжения в сечении.

Формулы (7.74)-(7.76) применимы при соблюдении следующих условий:

- а) изгибающие моменты действуют только относительно главных осей поперечного сечения;
- б) конструктивный элемент не подвержен свободному или стесненному кручению либо надежно раскреплен по своей длине от кручения и влияния изгибно-крутящего бимомента  $B$ ;
- в) угол  $\varphi$  между стенкой и полкой профиля более  $60^\circ$ .

Примечание - При действии в сечении элемента крутящего момента или изгибно-крутящего бимомента и отсутствии надежного его раскрепления от кручения расчет поперечного сечения по прочности следует выполнять в соответствии с 7.7.7.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.3.2 Эффективные моменты сопротивления  $W_{ef,x(y)}$  при изгибе элемента в двух главных плоскостях допускается определять раздельно, т.е. на основе эффективных поперечных сечений, соответствующих изгибу только относительно той главной оси, относительно которой вычисляется момент сопротивления.

Также допускается вычислять моменты сопротивления  $W_{ef,x(y)}$  для одного и того же эффективного сечения, полученного с учетом фактического распределения напряжений в его элементах при сложном напряженно-деформированном состоянии.

Примечание - При расчете  $W_{ef}$  отношение  $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$ , используемое для определения эффективных участков стенки, рекомендуется вычислять с использованием сечения, состоящего из эффективной площади сжатой полки и полной площади стенки (см. рисунок 7.16).

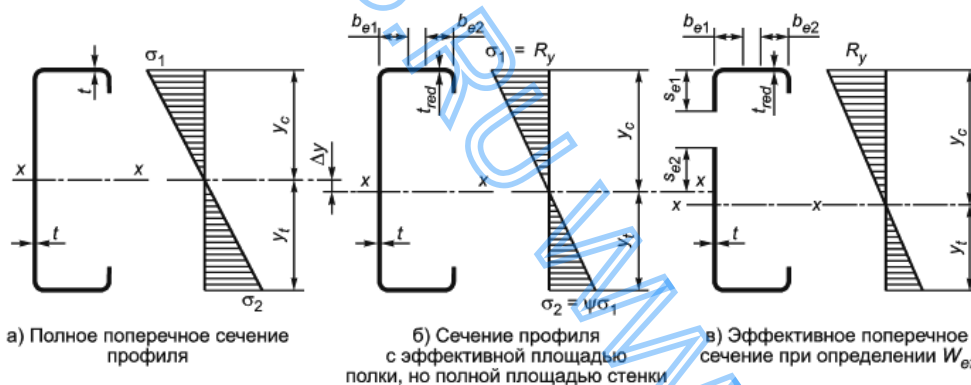


Рисунок 7.16 - Эффективное поперечное сечение (при  $\sigma_{com} = R_y$ ) для определения предельного изгибающего момента

(Измененная редакция, Изм. N 2).

#### 7.7.4 Совместное действие изгиба и продольной силы

При совместном действии изгибающих моментов и продольной сжимающей силы и отсутствии поперечной силы должно выполняться следующее условие прочности:

$$\frac{N}{A_{ef} R_y \gamma_c} + \frac{M_x + \Delta M_x}{W_{ef,x} R_y \gamma_c} + \frac{M_y + \Delta M_y}{W_{ef,y} R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (7.77)$$

где  $A_{ef}$  - эффективная площадь поперечного сечения при действии центрального сжатия;

$W_{ef,x(y)}$  - момент сопротивления эффективного сечения при изгибе относительно осей  $x-x$  или  $y-y$ , вычисленный для соответствующей точки сечения;

$\Delta M_{x(y)}$  - дополнительные изгибающие моменты от смещения центральных осей  $x-x$  и  $y-y$  при редукации относительно положения оси действия продольной силы, см. 7.7.2.3.

В формуле (7.77) необходимо учитывать знаки напряжений, вызываемых продольной силой  $N$  и изгибающими моментами  $M_x$  и  $M_y$  в соответствующих точках поперечного сечения, для нахождения максимального напряжения в сечении.

Если при действии сжатия с изгибом все части поперечного сечения находятся в сжатом состоянии, то моменты сопротивления  $W_{ef,x(y)}$ , как и площадь  $A_{ef}$ , следует определять от действия центрального сжатия.

Допускается также вычислять площадь  $A_{ef}$  и моменты сопротивления  $W_{ef,x(y)}$  для одного и того же эффективного сечения, полученного с учетом фактического распределения напряжений в его элементах при сложном напряженно-деформированном состоянии.

Формула (7.77) применима при соблюдении следующих условий:

- а) изгибающие моменты действуют только относительно главных осей поперечного сечения;
- б) конструктивный элемент не подвержен свободному или стесненному кручению либо надежно раскреплен по своей длине от кручения и влияния изгибно-крутящего бимомента  $B$ ;
- в) угол  $\varphi$  между стенкой и полкой профиля более  $60^\circ$ .

Примечания

1 Значения  $N$ ,  $M_{x(y)}$  и  $\Delta M_{x(y)}$  должны приниматься для наиболее невыгодного сочетания нагрузок, вызывающего наибольшие нормальные напряжения в сечении.

2 При действии в сечении элемента крутящего момента или изгибно-крутящего бимомента и отсутствии надежного его раскрепления от кручения расчет поперечного сечения по прочности следует выполнять в соответствии с 7.7.7.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

### 7.7.5 Совместное действие продольной, поперечной силы и изгибающих моментов

Для поперечных сечений при совместном действии осевой силы  $N$ , изгибающего момента  $M$  и поперечной силы  $Q$  влияние последней не учитывается, если  $Q \leq 0,5Q_w$ . При значении поперечной силы более половины предельного значения несущей способности по 7.7.4 при совместном действии момента и поперечной силы расчетное значение несущей способности поперечного сечения следует определять по уменьшенному значению расчетного сопротивления:

$$(1 - \rho_Q)R_y, \quad (7.78)$$

$$\text{где } \rho_Q = \left( \frac{2Q}{Q_w} - 1 \right)^2.$$

### 7.7.6 Расчет на поперечную силу

7.7.6.1 Расчет балочных конструкций на поперечную силу ведется в зонах у крайних опор и зонах над промежуточными опорами (в неразрезных балочных системах, где поперечные силы оказывают существенное влияние на несущую способность стенок балок, особенно в зонах промежуточных опор, где максимальная поперечная сила сочетается со значительным изгибающим моментом и в отдельных случаях с продольной силой).

Несущую способность поперечного сечения от действия поперечной силы  $Q_w$  вычисляют по формуле

$$Q_w = \frac{\gamma_c h_w t R_s}{\sin \alpha}, \quad (7.79)$$

где  $R_s$  - расчетное напряжение при сдвиге, учитывающее потерю устойчивости стенки, приведенное в таблице 7.4;

$h_w$  - высота стенки между срединными плоскостями полок;

$\alpha$  - угол наклона стенки относительно полок.

Таблица 7.4 - Расчетные напряжения  $R_s$  при сдвиге

Условная гибкость стенки	Стенка без элемента жесткости на опоре	Стенка с элементом жесткости на опоре*
$\bar{\lambda}_{yw} \leq 0,83$	$0,58 R_y$	$0,58 R_y$
$0,83 < \bar{\lambda}_{yw} < 1,40$	$0,48 R_y / \bar{\lambda}_{yw}$	$0,48 R_y / \bar{\lambda}_{yw}$
$\bar{\lambda}_{yw} \geq 1,40$	$0,67 R_y / \bar{\lambda}_{yw}^2$	$0,48 R_y / \bar{\lambda}_{yw}$

\* Элементы жесткости на опоре, такие как ребра жесткости, установленные для предотвращения искривлений стенки и рассчитанные на восприятие опорной реакции.

7.7.6.2 Условную гибкость стенки  $\bar{\lambda}_{yw}$  вычисляют по формулам:

- для стенок без продольных элементов жесткости

$$\bar{\lambda}_{yw} = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{R_y}{E}}; \quad (7.80)$$

- для стенок с продольными элементами жесткости

$$\bar{\lambda}_{yw} = 0,346 \frac{s_d}{t} \sqrt{\frac{5,34 R_y}{k_t E}}, \text{ но не менее } \bar{\lambda}_{yw} = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{R_y}{E}}, \quad (7.81)$$

$$\text{где } k_t = 5,34 + \frac{2,10}{t} \left( \frac{\sum I_s}{s_d} \right)^{1/3};$$

$I_s$  - момент инерции сечения отдельного продольного элемента жесткости, определенного, относительно оси  $a-a$ , проходящей через центр тяжести сечения ребра, параллельно плоскости стенки;

$s_d$  - общая наклонная высота стенки (при наличии наклона), включая периметр продольного ребра жесткости по осевой линии;

$s_w$  - наклонная высота стенки.

### 7.7.7 Кручение

Касательные напряжения от поперечных сил, свободного кручения, нормальные и касательные напряжения от стесненного кручения определяют с использованием геометрических характеристик полного сечения. В поперечных сечениях, подверженных кручению, должны быть выполнены следующие условия:

$$\sigma_{t,r} \leq \gamma_c R_y; \quad (7.82)$$

$$\tau_{t,r} \leq \gamma_c R_s; \quad (7.83)$$

$$\sqrt{\sigma_{t,r}^2 + 3\tau_{t,r}^2} \leq \gamma_c R_y, \quad (7.84)$$

где  $\sigma_{t,r}$  - расчетное суммарное нормальное напряжение, рассчитанное для соответствующего рассматриваемого эффективного поперечного сечения;

$\tau_{t,r}$  - расчетное суммарное касательное напряжение, рассчитанное для полного поперечного сечения.

Суммарное нормальное напряжение  $\sigma_{tot,r}$  и суммарное касательное напряжение  $\tau_{tot,r}$  вычисляют по формулам:

$$\sigma_{tot,r} = \sigma_{N,r} + \sigma_{M_y,r} + \sigma_{M_x,r} + \sigma_{w,r}; \quad (7.85)$$

$$\tau_{tot,r} = \tau_{Q_y,r} + \tau_{Q_x,r} + \tau_{t,r} + \tau_{w,r}, \quad (7.86)$$

где  $\sigma_{M_y,r}$  - нормальное напряжение от изгибающего момента  $M_{y,Ed}$  (определяется для эффективного поперечного сечения);

$\sigma_{M_x,r}$  - нормальное напряжение от изгибающего момента  $M_{x,Ed}$  (определяется для эффективного поперечного сечения);

$\sigma_{N,y}$  - нормальное напряжение от осевой силы  $N_{Ed}$  (определяется для эффективного поперечного сечения);

$\sigma_{w,y}$  - нормальные напряжения от деформации (определяется для полного поперечного сечения);

$\tau_{Q_{y,z}}$  - сдвигающее напряжение от поперечной силы  $V_{y,Ed}$  (определяется для полного поперечного сечения);

$\tau_{Q_{z,y}}$  - сдвигающее напряжение от поперечной силы  $V_{z,Ed}$  (определяется для полного поперечного сечения);

$\tau_{t,y}$  - касательное напряжение от свободного кручения (определяется для полного поперечного сечения);

$\tau_{w,y}$  - касательное напряжение от деформации (определяется для полного поперечного сечения).

### 7.7.8 Расчет на устойчивость центрально сжатых стержней

7.7.8.1 Расчет на устойчивость центрально сжатых стержней сплошного сечения следует проводить по формуле

$$\frac{N}{\varphi A_{ef} R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (7.87)$$

где  $\varphi$  - коэффициент устойчивости при центральном сжатии для соответствующей формы потери устойчивости, зависящий от условной гибкости сжатого профиля 4-го класса.

Условную гибкость  $\bar{\lambda}$  при плоской форме потери устойчивости при центральном сжатии (продольном изгибе) вычисляют по формуле

$$\bar{\lambda} = \frac{l_{ef}}{(\pi \cdot i)} \sqrt{\frac{R_y A_{ef}}{E A_g}}, \quad (7.88)$$

где  $l_{ef}$  - расчетная длина стержня;

$i$  - радиус инерции полного сечения, брутто;

$A_{ef}$  - эффективная площадь поперечного сечения;

$A_g$  - площадь полного поперечного сечения.

При плоской форме потери устойчивости (продольном изгибе) соответствующие значения коэффициента устойчивости при центральном сжатии  $\varphi$  допускается определять по таблице Д.1 СП 16.13330.2017, в которой вместо условной гибкости принимается значение  $\bar{\lambda} \cdot \pi$ , где  $\bar{\lambda}$  определено по формуле (7.88). Тип сечения принимают в соответствии с данными таблицы 7.5.

Для элементов несимметричных сечений и сечений с одной осью симметрии следует учитывать дополнительные моменты  $\Delta M_{x(y)}$  в соответствии с 7.7.2.3, вызванные смещением центральных осей эффективного сечения при редукации (см. рисунок 7.15), а совместное действие осевой силы и момента следует принимать по 7.7.10.4.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.8.2 Для элементов из открытых кососимметричных поперечных сечений (например, Z-образных с одинаковыми полками) кроме проверки устойчивости продольного изгиба стержень следует проверять на крутильную форму потери устойчивости:

- открытые сечения с одной осью симметрии (см. рисунок 7.17) следует проверять на изгибно-крутильную форму потери устойчивости;

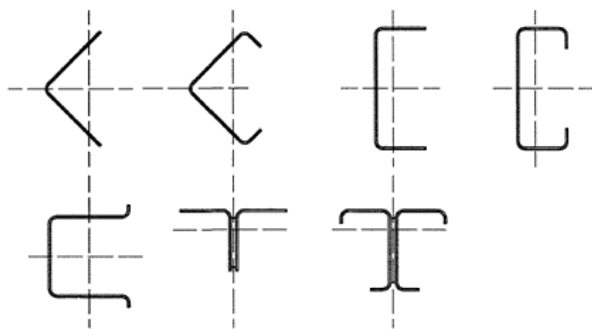


Рисунок 7.17 - Поперечные сечения, предрасположенные к изгибно-крутильной форме потери устойчивости

- открытые сечения с несимметричной формой поперечного сечения следует проверять из условия потери устойчивости по крутильной форме или изгибно-крутильной формы потери устойчивости, которая может быть менее, чем несущая способность элемента из условия потери плоской формы устойчивости.

Расчет центрально сжатых стержней из условия потери устойчивости по крутильной или изгибно-крутильной форме следует выполнять в соответствии с 7.7.8.1 и 7.7.8.3-7.7.8.6 по формуле (7.87), где коэффициент устойчивости при центральном сжатии  $\varphi$  следует определять в зависимости от условной гибкости  $\bar{\lambda}_T$  при крутильной или изгибно-крутильной форме потери устойчивости, определяемой по формуле (7.89).

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.8.3 Условную гибкость  $\bar{\lambda}_T$  при крутильной или изгибно-крутильной форме потери устойчивости вычисляют по формуле

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{ef} R_y}{N_{cr}}}, \tag{7.89}$$

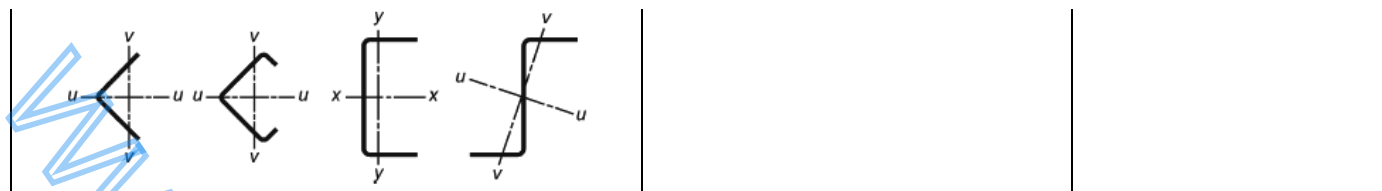
где  $N_{cr} = N_{cr,T}$  - для крутильной формы потери устойчивости;

$N_{cr} = N_{cr,TF}$  - для изгибно-крутильной формы потери устойчивости.

При крутильной или изгибно-крутильной форме потери устойчивости соответствующие значения коэффициента устойчивости при центральном сжатии  $\varphi$  допускается определять по таблице Д.1 СП 16.13330.2017, в которой вместо условной гибкости принимается значение  $\bar{\lambda} = \pi \bar{\lambda}_T$ , где  $\bar{\lambda}_T$  определено по формуле (7.89). Тип сечения принимают в соответствии с данными таблицы 7.5.

Таблица 7.5 - Кривые потери устойчивости для различных типов поперечных сечений

Тип поперечного сечения	Потеря устойчивости относительно оси	Кривая потери устойчивости
	Любая	b
	x-x y-y	a b
	Любая	b
	Любая	c



(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.8.4 Критическую силу  $N_{cr,T}$  для крутильной формы потери устойчивости в упругой стадии свободно опертого стержня вычисляют по формуле

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( GI_t + \frac{\pi^2 EI_\omega}{l_T^2} \right); \quad (7.90)$$

$$i_0^2 = i_x^2 + i_y^2 + x_0^2 + y_0^2,$$

где  $G$  - модуль сдвига;

$I_t$  - момент инерции при свободном кручении полного сечения;

$I_\omega$  - секториальный момент инерции полного сечения;

$i_y$  - радиус инерции полного сечения относительно оси  $y$ - $y$ ;

$i_x$  - радиус инерции полного сечения относительно оси  $x$ - $x$ ;

$l_T$  - расчетная длина элемента, теряющего устойчивость по крутильной форме (см. 7.7.8.6);

$x_0, y_0$  - координаты центра сдвига относительно центра тяжести полного поперечного сечения.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.8.5 Для поперечных сечений, симметричных относительно оси  $x$ - $x$  ( $y_0 = 0$ ), в упругой стадии критическую силу  $N_{cr,TF}$  для изгибно-крутильной формы потери устойчивости вычисляют по формуле

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,x}}{2\beta} \left[ 1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,x}} - \sqrt{\left( 1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,x}} \right)^2 + 4 \left( \frac{x_0}{i_0} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,x}}} \right], \quad (7.91)$$

$$\text{где } \beta = 1 - \left( \frac{x_0}{i_0} \right)^2;$$

$N_{cr,x}$  - критическая сила плоской формы потери устойчивости (продольного изгиба) для полного сечения относительно оси  $x$ - $x$  по Эйлеру, определяемая по формуле

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{g,x}}{l_{ef}^2}, \quad (7.91a)$$

здесь  $I_{g,x}$  - момент инерции полного сечения брутто относительно оси  $x$ - $x$ ;

$l_{ef}$  - расчетная длина стержня.

Для сечений с двумя осями симметрии ( $y_0 = x_0 = 0$ ) критическую силу  $N_{cr,TF}$  для изгибно-крутильной формы потери устойчивости упругой стадии вычисляют по формуле

$$N_{cr,TF} = N_{cr,T}. \quad (7.92)$$

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.8.6 Расчетную длину  $l_T$  элемента, теряющего устойчивость по крутильной или изгибно-крутильной форме, следует определять с учетом степени его защемления от кручения и депланации на каждом конце элемента длиной  $l_T$ .



В зависимости от типа соединения на концах элемента могут приниматься следующие значения  $l_T / L_T$ :

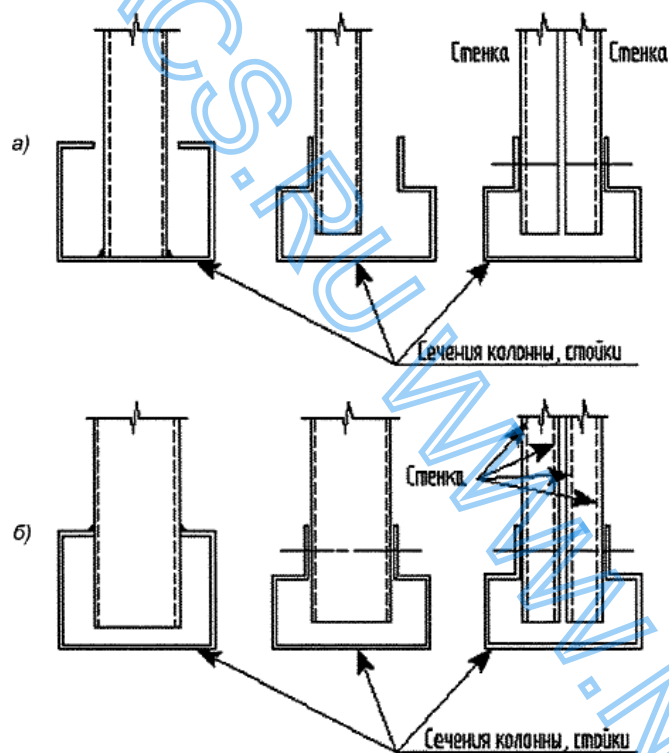
- 1,0 - для соединений, обеспечивающих частичное закрепление от кручения и деформации (см. рисунок 7.18 а));
- 0,7 - для соединений, обеспечивающих значительное закрепление от кручения и деформации (см. рисунок 7.18 б)).

7.7.8.7 Расчет составных сечений из уголков, швеллеров, С-образных и  $\Sigma$ -образных профилей, соединенных вплотную или через прокладки, следует выполнять как сплошнотенчатых при условии, что участки между соединяющими сварными швами или центрами крайних болтов не превышают  $30i$  - для сжатых элементов и  $70i$  - для растянутых. При этом дополнительно ветви сжатых составных сечений следует проверять на плоскую, крутильную либо изгибно-крутильную формы потери устойчивости при центральном сжатии. При наличии в сечении ветвей дополнительных моментов  $\Delta M_{x(y)}$ , возникающих от смещения центра тяжести сечения при редукции, следует выполнять проверку ветвей на потерю устойчивости при сжатии с изгибом в соответствии с 7.7.10.3 и 7.7.10.4. Расчетную длину ветви следует принимать равной расстоянию между планками или узлами решетки.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.8.8 Условная гибкость ветвей  $\lambda$ , определяемая в соответствии с 7.7.8.1, на участках между узлами раскрепления решетками должна быть не более 0,73 (что эквивалентно значению условной гибкости 2,3 по положениям СП 16.13330) и не должна превышать условную приведенную гибкость стержня в целом.

(Измененная редакция, Изм. N 2).



а) - соединения, обеспечивающие частичное закрепление от кручения и деформации;

б) - соединения, обеспечивающие значительное закрепление от кручения и деформации (замкнутые сечения или сечения с болтами, проходящими через две стенки элемента)

Рисунок 7.18 - Закрепление от кручения и деформации

### 7.7.9 Общая устойчивость изгибаемых балок

7.7.9.1 Расчет на устойчивость плоской формы изгиба для балок постоянного сечения, не раскрепленных из плоскости действия изгибающего момента, следует выполнять по формуле

$$\frac{M_x}{\chi_{LT} W_{ef,x} R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (7.93)$$

где  $\chi_{LT}$  - понижающий коэффициент при потере устойчивости плоской формы изгиба;

$W_{ef,x}$  - момент сопротивления эффективного поперечного сечения при изгибе относительно оси x-x, вычисленный для наиболее сжатой точки сечения.

Примечание - При определении  $W_{ef,x}$  отверстия на конце балки учитывать не следует.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.9.2 Для изгибаемых элементов постоянного поперечного сечения значение  $\chi_{LT} \leq 1,0$  при соответствующей условной гибкости  $\bar{\lambda}_{LT}$  вычисляются по формуле

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \quad (7.94)$$

$$\text{где } \Phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2], \quad (7.95)$$

здесь  $\alpha_{LT}$  - коэффициент, учитывающий начальные несовершенства, принимаемый по таблице 7.6 (при этом кривые потери устойчивости следует принимать по таблице 7.5).

Условную гибкость при потере устойчивости плоской формы изгиба вычисляют по формуле

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ef,x} R_y}{M_{cr}}}, \quad (7.96)$$

где  $M_{cr}$  - критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии. Определение  $M_{cr}$  для сечений с двумя осями симметрии и с одной осью симметрии (при изгибе в плоскости симметрии) приведено в приложении Г. Определение  $M_{cr}$  для прогонов С-образного и Z-образного сечений приведено в приложении А.

Значение  $\chi_{LT}$  допускается принимать равным значению коэффициента  $\varphi$ , определяемому по таблице Д.1 СП 16.13330.2017, для условной гибкости  $\bar{\lambda} = \pi \bar{\lambda}_{LT}$  и типа сечения в соответствии с данными таблицы 7.5.

Таблица 7.6 - Рекомендуемые значения коэффициентов, учитывающих начальные несовершенства, для кривых потери устойчивости плоской формы изгиба

Кривая потери устойчивости	a	b	c
Коэффициент $\alpha_{LT}$	0,21	0,34	0,49

(Измененная редакция, Изм. N 1, 2).

7.7.9.3 При определении  $M_{cr}$  принимают геометрические характеристики поперечного сечения брутто и учитывают условия нагружения, действительное распределение момента и раскрепления из плоскости действия изгибающего момента.

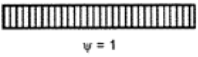



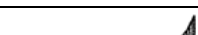


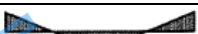
Для учета изменения изгибающего момента в балке между элементами бокового раскрепления, понижающий коэффициент  $\chi_{LT}$  можно скорректировать следующим образом:

$$\chi_{LT,m} = \frac{\chi_{LT}}{f_m} \leq 1; \quad (7.97)$$

$$f_m = 1 - 0,5(1 - k_c)[1 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2] \leq 1; \quad (7.98)$$

где  $k_c$  - поправочный коэффициент, принимаемый по таблице 7.7.

Таблица 7.7 - Поправочные коэффициенты  $k_c$

Эпюра моментов	$k_c$
 $\psi = 1$	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

### 7.7.10 Устойчивость при внецентренном сжатии элементов сплошного сечения

7.7.10.1 При проверке на устойчивость внецентренно сжатых стержней составного сечения, ветви которых соединены друг с другом непосредственно стенками или через прокладки (рисунок 7.19), следует выполнять как расчет стержня в целом, так и отдельных его ветвей. При непрерывном соединении ветвей друг с другом по всей длине элемента проверку устойчивости отдельных ветвей не требуется.

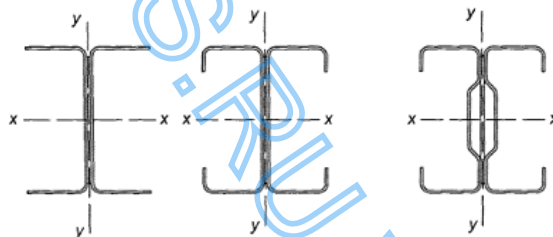


Рисунок 7.19 - Сечения сплошных стержней колонн и стоек

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.10.2 Проверку на потерю устойчивости сжато-изгибаемых (внецентренно сжатых) элементов с одной или двумя осями симметрии, при условии отсутствия стесненного кручения, следует проводить в соответствии с положениями 7.7.10.3 и 7.7.10.4, которые учитывают начальные несовершенства, приведенные в 5.5. Проверку проводят с учетом соответствующих расчетных длин элементов.

При этом следует различать:

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

Проверку несущей способности элементов конструктивных систем допускается выполняться, как для отдельных однопролетных элементов, "вырезанных" из системы.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

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

$$\frac{N}{\varphi_x A_{ef} R_y \gamma_c} + k_{xx} \frac{M_x + \Delta M_x}{\chi_{LT} W_{ef,x} R_y \gamma_c} + k_{xy} \frac{M_y + \Delta M_y}{W_{ef,y} R_y \gamma_c} \leq 1; \quad (7.99)$$

$$\frac{N}{\varphi_y A_{ef} R_y \gamma_c} + k_{yx} \frac{M_x + \Delta M_x}{\chi_{LT} W_{ef,x} R_y \gamma_c} + k_{yy} \frac{M_y + \Delta M_y}{W_{ef,y} R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (7.100)$$

где  $N$ ,  $M_x$  и  $M_y$  - расчетные значения сжимающей силы и максимальных моментов относительно осей  $x$ - $x$  и  $y$ - $y$  соответственно;

$\Delta M_x$ ,  $\Delta M_y$  - дополнительные изгибающие моменты от смещения центральных осей  $x$ - $x$  и  $y$ - $y$  при редукации относительно положения оси действия продольной силы, см. 7.7.2.3;

$W_{ef,x(y)}$  - момент сопротивления эффективного сечения относительно оси  $x$ - $x$  или  $y$ - $y$ , вычисленный для наиболее сжатой точки сечения;

$\varphi_x$  и  $\varphi_y$  - понижающие коэффициенты при плоской форме потери устойчивости при центральном сжатии;

$\chi_{LT}$  - понижающий коэффициент при проверке устойчивости плоской формы изгиба, см. 7.7.9. Для элементов, не чувствительных к деформациям кручения,  $\chi_{LT} = 1,0$ ;

$k_{xx}$ ,  $k_{xy}$ ,  $k_{yx}$ ,  $k_{yy}$  - коэффициенты взаимодействия (см. приложение В).

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.10.4 Допускается для проверки устойчивости сжато-изгибаемых элементов использовать упрощенную формулу

$$\left( \frac{N}{\varphi A_{ef} R_y \gamma_c} \right)^{0,8} + \left( \frac{M_x + \Delta M_x}{\chi_{LT} W_{ef,x} R_y \gamma_c} \right)^{0,8} \leq 1,0, \quad (7.101)$$

где  $\varphi$  - коэффициент устойчивости при центральном сжатии, принимаемый по наименьшему из значений, соответствующих плоской, крутильной или изгибно-крутильной форме потери устойчивости, см. 7.7.8.1-7.7.8.6.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

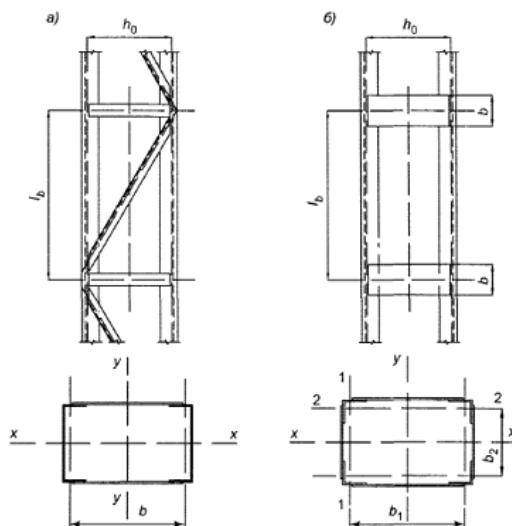
7.7.10.5 В формулах (7.99)-(7.101) допускается определять эффективные геометрические характеристики отдельно (от действия соответствующего им силового фактора). Если при действии сжатия с изгибом все части поперечного сечения находятся в сжатом состоянии, то моменты сопротивления  $W_{ef,x(y)}$ , как и площадь  $A_{ef}$ , следует определять от действия центрального сжатия.

Допускается также вычислять площадь  $A_{ef}$  и моменты сопротивления  $W_{ef,x(y)}$  для одного и того же эффективного сечения, полученного с учетом фактического распределения напряжений в его элементах при сложном напряженно-деформированном состоянии.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

#### 7.7.11 Расчет центрально сжатых и растянутых элементов сквозного сечения

7.7.11.1 Расчет на прочность элементов сквозного сечения при центральном растяжении и сжатии двух профилей, составленных из швеллеров, С-образных и  $\Sigma$ -образных профилей, соединенных планками или решетками (см. рисунок 7.20), следует проводить по формулам (7.87) и (7.88), где  $A_g$  и  $A_{ef}$  - полная и эффективная площадь всех рабочих стержней, входящих в состав решетчатого элемента.



а) - двухветвевой стержень; б) - стержень с четырьмя ветвями

Рисунок 7.20 - Стержни сквозного сечения, объединенные планками и решеткой

7.7.11.2 Расчет на устойчивость сжатых стержней сквозного сечения типа  $\alpha$ , две ветви которых соединены планками или решетками, следует выполнять по формуле (7.86), при этом коэффициент  $\varphi$  относительно оси, перпендикулярной планкам и решеткам, следует определять по СП 16.13330.2017 (таблица Д.1 для сечений типа  $b$  из швеллеров, С-образных и  $\Sigma$ -образных профилей) с заменой  $\bar{\lambda}_{ef}$  на значение  $\bar{\lambda}_{ef,c}$ , которое следует определять в зависимости от  $\lambda_{ef,c}$  по 7.7.11.3.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.11.3 Устойчивость отдельных ветвей должна быть проверена как на изгибную форму потери устойчивости, так и на крутильную и изгибно-крутильную формы потери устойчивости по 7.7.8.4-7.7.8.6. Следует также учитывать появление дополнительных моментов  $\Delta M = Ne_N$ , вызванных смещением центральных осей  $y-y$  и  $z-z$  относительно осевых усилий по 7.7.2.3, а также расцентровкой решетки.

7.7.11.4 Приведенную гибкость  $\bar{\lambda}_{ef,c}$  для сечений типа  $\alpha$  с двумя ветвями [рисунок 7.20 а)] вычисляют по формулам:

- для креплений планками

$$\bar{\lambda}_{ef,c} = \sqrt{\lambda_{y,ef}^2 + 0,82(1+n)\bar{\lambda}_{b1,ef}^2}, \quad (7.102)$$

$$\text{где } n = \frac{I_{b1,ef} h_0}{I_s \alpha};$$

- для соединения решетками

$$\bar{\lambda}_{ef,c} = \sqrt{\lambda_{y,ef}^2 + \alpha \frac{A_{ef}}{A_{d1,ef}}}, \quad (7.103)$$

$$\text{где } \alpha = 10 \frac{d^3}{h_0^2 \alpha}.$$

Приведенную гибкость  $\bar{\lambda}_{ef,c}$  для сечений типа  $b$  с четырьмя ветвями [рисунок 7.20 б)] вычисляют по формулам:

- для соединения планками

$$\bar{\lambda}_{ef,c} = \sqrt{\lambda_{y,max,ef}^2 + [0,82(1+n_1)\bar{\lambda}_{b1,ef}^2 + (1+n_2)\bar{\lambda}_{b2,ef}^2]}, \quad (7.104)$$

$$\text{где } n_1 = \frac{I_{b1,ef} b_1}{I_{s1} l^b}; \quad n_2 = \frac{I_{b2,ef} b_2}{I_{s2} l^b};$$

- для соединения решетками

$$\bar{\lambda}_{ef,c} = \sqrt{\bar{\lambda}_{y,max,ef}^2 + \left( \alpha_1 + \alpha_2 \frac{A_{d1,ef}}{A_{d2,ef}} \right) \frac{A_{ef}}{A_{d1,ef}}}, \quad (7.105)$$

где  $\alpha_1 = 10 \frac{d_1^3}{b_1^2 l_b}$ ;  $\alpha_2 = 10 \frac{d_2^3}{b_2^2 l_b}$ ,

$\bar{\lambda}_{ef,c}$  - приведенная эффективная гибкость сквозного стержня в целом в плоскости, перпендикулярной оси  $y-y$ ;

$\bar{\lambda}_{b1,ef}$  - приведенная эффективная гибкость ветви относительно собственной оси, параллельной оси  $y-y$ ;

$\bar{\lambda}_{b2,ef}$  - приведенная эффективная гибкость ветви относительно собственной оси, параллельной оси  $x-x$ ;

$h_0$  - расстояние между центрами тяжести стержней;

$l_b$  - шаг планок, высота панели решетки;

$I_{b1,ef}$  - эффективный момент инерции ветви относительно собственной оси, параллельной оси  $y-y$ ;

$I_{b2,ef}$  - эффективный момент инерции ветви относительно собственной оси, параллельной оси  $x-x$ ;

$I_{s1}, I_{s2}$  - моменты инерции планок относительно осей 1-1 и 2-2;

$A_{ef}$  - эффективная площадь всего сквозного стержня;

$A_{d1}, A_{d2}$  - площадь сечения раскосов решетки (при крестовой решетке - двух раскосов), расположенных в плоскостях, перпендикулярных 1-1 и 2-2.

7.7.11.5 В сквозных сечениях с планками условная гибкость отдельной ветви на участке между сварными швами или крайними болтами должна быть не менее 1,15. Ветви на расчетной длине между планками должны быть проверены на изгибно-крутильную форму потери устойчивости ветви в пределах расчетной длины между креплениями планок или решеток по формулам (7.91) и (7.102).

7.7.11.6 Условная гибкость между узлами ветвей, раскрепленных решетками, должна быть не более 2,3 и не должна превышать условную приведенную гибкость стержня в целом.

7.7.11.7 Расчет соединительных планок и элементов решеток сжатых стержней сквозного сечения следует выполнять на условную поперечную силу  $Q_u$ , принимаемую постоянной по всей длине стержня по формуле

$$Q_u = \gamma_c \cdot 7,15 \cdot 10^{-6} \left( 2330 - \frac{E}{R_y} \right) \frac{N}{\varphi}, \quad (7.106)$$

где  $N$  - полное продольное усилие в сквозном стержне;

$\varphi$  - коэффициент устойчивости при центральном сжатии [для сечений типа по таблице 7.5 и СП 16.13330.2017 (таблица Д.1)].

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.11.8 Условную поперечную силу  $Q_u$  следует распределять поровну между решетками и планками, лежащими в плоскости, перпендикулярной оси, относительно которой проводится проверка устойчивости. Расчет соединительных планок и их креплений следует выполнять по СП 16.13330.2017 (пункты 7.2.8 и 7.2.9).

(Измененная редакция, Изм. N 2).

7.7.11.9 Расчет распорок, уменьшающих расчетную длину сжатых элементов, следует выполнять на усилие, равное условной поперечной силе в основном сжатом элементе по формуле (7.106).

## 7.7.12 Расчет потери устойчивости стенки от местной нагрузки

7.7.12.1 Расчет на смятие и потерю устойчивости стенки профиля, при действии опорной реакции или другой местной поперечной

силы, приложенной к полке, следует проводить, исходя из значения поперечной силы,  $Q_{w,p}$ , которая должна удовлетворять условию

$$\gamma_c Q_r \leq Q_{w,p}, \quad (7.107)$$

где  $Q_{w,p}$  - несущая способность стенки при местном поперечном воздействии.

7.7.12.2 Поперечное сечение с одной стенкой без элементов жесткости (см. рисунок 7.21) должно отвечать следующим критериям:

$$h_w / t \leq 200; r / t \leq 6; 45^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ,$$

где  $h_w$  - высота стенки между срединными плоскостями полок;

$r$  - внутренний радиус углов;

$\varphi$  - угол наклона стенки относительно полок (в градусах).

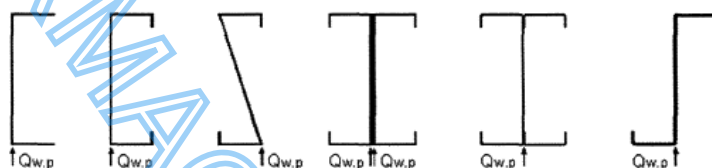


Рисунок 7.21 - Примеры сечений профилей с одной стенкой

7.7.12.3 Несущую способность на одну стенку при местном поперечном воздействии  $Q_{w,p}$  в виде опорной реакции или местной нагрузки вычисляют по формуле

$$Q_{w,p} = \gamma_c C t^2 R_y \sin \varphi \left( 1 - C_r \sqrt{\frac{r}{t}} \right) \cdot \left( 1 + C_b \sqrt{\frac{b}{t}} \right) \cdot \left( 1 - C_h \sqrt{\frac{h}{t}} \right), \quad (7.108)$$

где  $C$  - коэффициент из таблиц 7.8-7.12;

$t$  - толщина стенки;

$\varphi$  - угол между плоскостью стенки и плоскостью опорной поверхности;

$r$  - внутренний радиус изгиба;

$C_r$  - коэффициент, учитывающий гибкость стенки, из таблиц 7.8-7.12;

$b$  - длина опорной части или местной распределенной нагрузки;

$C_b$  - коэффициент, учитывающий длину приложения локальной нагрузки на опоре или в пролете, из таблиц 7.8-7.12;

$h$  - высота плоской части стенки профиля;

$C_h$  - коэффициент, учитывающий высоту стенки, из таблиц 7.8-7.12.

#### Примечания

1 Для конструктивных элементов, состоящих из двух и более стенок, значение  $Q_{w,p}$  рассчитывается для каждой стенки профиля и суммируется;

2 Концевое приложение опорной реакции или местной нагрузки от свободного края элемента должно быть менее или равно  $1,5 h_w$ ;

3 Приложение двух местных противоположно направленных нагрузок, приложенных к двум полкам элемента, должно быть менее или равно  $1,5 \frac{h_w}{t}$ ;

4 Приложение двух местных противоположно направленных нагрузок, приложенных к одной полке элемента, должно быть равно или более  $1,5 \frac{h_w}{t}$ .

Таблица 7.8 - Составные стержни из двух швеллеров, С-образных и  $\Sigma$ -образных профилей, соединенных стенками

Конструкция опоры и полок		Опорная реакция или локальная нагрузка		$C$	$C_r$	$C_b$	$C_h$	Ограничения
Закрепленная на опоре	Полка окаймлена	На одну полку	Концевая	10	0,14	0,28	0,001	$r/t \leq 5$
			Промежуточная	20	0,15	0,05	0,003	$r/t \leq 5$
Не закрепленная на опоре	Полка окаймлена	На одну полку	Концевая	10	0,14	0,28	0,001	$r/t \leq 5$
			Промежуточная	20,5	0,17	0,11	0,001	$r/t \leq 3$
		На две полки	Концевая	15,5	0,09	0,08	0,04	$r/t \leq 3$
			Промежуточная	36	0,14	0,08	0,04	
	Неокаймленная полка	На одну полку	Концевая	10	0,14	0,28	0,001	$r/t \leq 5$
			Промежуточная	20,5	0,17	0,11	0,001	$r/t \leq 3$
Примечания								
1 Значения коэффициентов действительны для отношений $b/t \leq 210$ ; $b/h \leq 1,0$ .								
2 Коэффициенты $C$ приведены для составных двутавров, полученных от соединения стенок непосредственно друг к другу либо через сухари, последнее решение предпочтительно, так как позволяет контролировать появление щелевой коррозии и увеличивает момент инерции сечения из плоскости.								
3 Расстояние между осями креплений сухарей изгибаемых элементов должны быть не более $40i_{ef}$ .								

Таблица 7.9 - Стержни из одиночных швеллеров и С-образных профилей

Конструкция опоры и полок		Опорная реакция или локальная нагрузка		$C$	$C_r$	$C_b$	$C_h$	Ограничения
Закрепленная на опоре	Полка с отгибом	На одну полку	Концевая	4	0,14	0,35	0,02	$r/t \leq 9$
			Промежуточная	13	0,23	0,14	0,01	$r/t \leq 5$
		На две полки	Концевая	7,5	0,08	0,12	0,048	$r/t \leq 12$
			Промежуточная	20	0,10	0,08	0,031	$r/t \leq 12$
Не закрепленная на опоре	Полка с отгибом	На одну полку	Концевая	4	0,14	0,35	0,02	$r/t \leq 5$
			Промежуточная	13	0,23	0,14	0,01	
		На две полки	Концевая	13	0,32	0,05	0,04	$r/t \leq 3$
			Промежуточная	24	0,52	0,15	0,001	
	Полка без отгиба	На одну полку	Концевая	4	0,40	0,60	0,03	$r/t \leq 2$
			Промежуточная	13	0,32	0,10	0,01	$r/t \leq 1$
		На две полки	Концевая	2	0,11	0,37	0,01	$r/t \leq 1$
			Промежуточная	13	0,47	0,25	0,04	
Примечание - Значения коэффициентов действительны для отношений $b/t \leq 210$ ; $b/h \leq 2,0$ .								

Таблица 7.10 - Стержни из одиночных Z-образных профилей

Конструкция опоры и полок		Опорная реакция или локальная нагрузка		$C$	$C_r$	$C_b$	$C_h$	Ограничения
Закрепленная на опоре	Полка с отгибом	На одну полку	Концевая	4	0,14	0,35	0,02	$r/t \leq 9$
			Промежуточная	13	0,23	0,14	0,01	



								$r/t \leq 5$		
Не закрепленная на опоре	Полка с отгибом	На две полки	Концевая	9	0,05	0,16	0,052	$r/t \leq 12$		
			Промежуточная	24	0,07	0,07	0,04	$r/t \leq 12$		
		На одну полку	Концевая	5	0,09	0,02	0,001	$r/t \leq 5$		
			Промежуточная	13	0,23	0,14	0,01	$r/t \leq 5$		
		На две полки	Концевая	13	0,32	0,05	0,04	$r/t \leq 3$		
			Промежуточная	24	0,52	0,15	0,001	$r/t \leq 3$		
	Полка без отгиба	На одну полку	Концевая	4	0,40	0,60	0,03	$r/t \leq 2$		
			Промежуточная	13	0,32	0,10	0,01	$r/t \leq 1$		
		На две полки	Концевая	2	0,11	0,37	0,01	$r/t \leq 1$		
			Промежуточная	13	0,47	0,25	0,04	$r/t \leq 1$		
		Примечание - Значения коэффициентов действительны для отношений $b/t \leq 210$ ; $b/h \leq 2,0$ .								

7.7.12.4 В поперечных сечениях с двумя и более стенками, включая профилированные листы (см. рисунок 7.22), несущую способность стенки без элементов жесткости при местном поперечном воздействии следует определять при следующих условиях:

- если расстояние  $c$  от нагруженного участка до свободного края (см. таблицу 7.3) не менее 40 мм;
- если поперечное сечение удовлетворяет следующим критериям:

$$r/t \leq 10; h_w/t \leq 200; 45^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ,$$

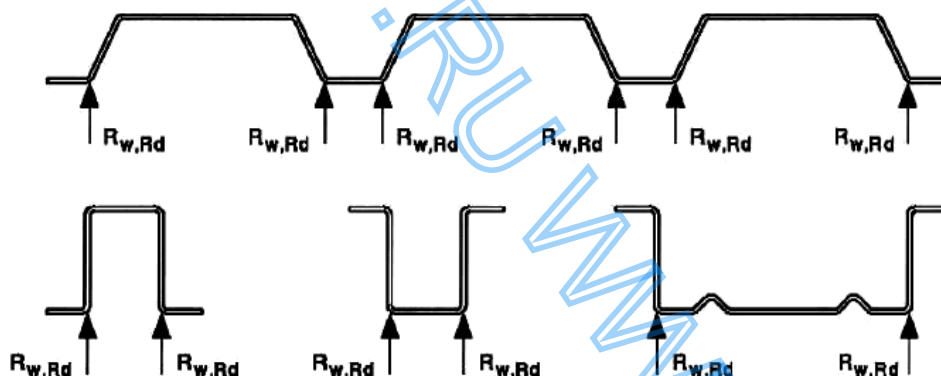


Рисунок 7.22 - Примеры профилей с двумя и более стенками

7.7.12.5 Несущую способность на одну стенку профилированных настилов, кассетных и шляпных профилей при местном поперечном воздействии  $Q_{w,p}$  в виде опорной реакции или местной нагрузки следует определять по формуле (7.106). Значения коэффициентов  $C$ ,  $C_r$ ,  $C_b$ ,  $C_h$  приведены в таблице 7.11 для одиночных кассетных и шляпных профилей и в таблице 7.12 - для профилированных настилов.

Таблица 7.11 - Стержни из одиночных кассетных и шляпных профилей

Конструкция опоры и полок		Опорная реакция или локальная нагрузка		$C$	$C_r$	$C_b$	$C_h$	Ограничения
Закрепленная на опоре	Полка с отгибом	На одну полку	Концевая	4	0,25	0,68	0,04	

			Промежуточная	17	0,13	0,13	0,04	$r/t \leq 5$	
			На две полки	Концевая	9	0,10	0,07	0,03	$r/t \leq 10$
				Промежуточная	10	0,14	0,22	0,02	$r/t \leq 4$
			Не закрепленная на опоре	Полка с отгибом	На одну полку	Концевая	4	0,25	0,68
Промежуточная	17	0,13				0,134	0,04		

Таблица 7.12 - Профилированные настилы с несколькими стенками

Конструкция опоры и полок	Опорная реакция или локальная нагрузка		$C$	$C_r$	$C_b$	$C_h$	Ограничения
Закрепленная на опоре	На одну полку	Концевая	3	0,08	0,70	0,055	$r/t \leq 7$
		Промежуточная	8	0,10	0,17	0,004	$r/t \leq 10$
	На две полки	Концевая	9	0,12	0,14	0,04	$r/t \leq 10$
		Промежуточная	10	0,11	0,21	0,02	
Не закрепленная на опоре	На одну полку	Концевая	3	0,08	0,70	0,055	$r/t \leq 7$
		Промежуточная	8	0,10	0,17	0,004	
	На две полки	Концевая	6	0,16	0,17	0,05	$r/t \leq 5$
		Промежуточная	17	0,10	0,10	0,046	-

### 7.7.13 Расчет перфорированного настила

7.7.13.1 Перфорированный настил с круглыми отверстиями, расположенными в углах равностороннего треугольника при соотношении параметров  $0,2 \leq d/a \leq 0,9$  (см. рисунок 7.23), может быть рассчитан при условии, что при определении сплошного сечения настила учтено ослабление его отверстиями путем введения эффективной толщины, приведенной ниже.

7.7.13.2 Характеристики полного сечения рассчитывают по 7.3.1 с заменой  $t$  на  $t_{a,ef}$ , вычисляемую по формуле

$$t_{a,ef} = 1,18t \left( 1 - \frac{d}{0,9a} \right). \quad (7.109)$$

Характеристики эффективного сечения рассчитывают по разделу 7.3.1 с заменой  $t$  на  $t_{b,ef}$ , вычисляемую по формуле

$$t_{b,ef} = t \cdot \sqrt[3]{1,18 \left( 1 - \frac{d}{a} \right)}. \quad (7.110)$$

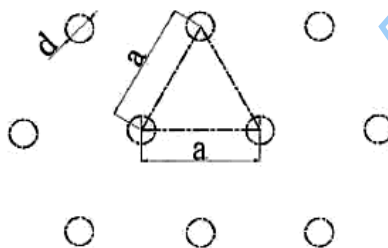


Рисунок 7.23 - Схема расположения отверстий в перфорированном настиле

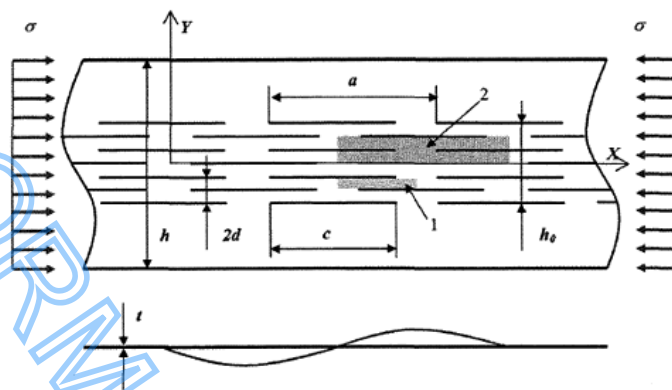
Несущую способность одной стенки при действии локальной поперечной силы рассчитывают по 7.7.2 с заменой  $t$  на  $t_{c,ef}$ , вычисляемую по формуле

$$t_{c,ef} = t \cdot \left[ 1 - \left( \frac{d}{a} \right)^2 \cdot \frac{h_p}{h_w} \right]^{3/2}, \quad (7.111)$$

где  $h_p$  - наклонная высота перфорированной части стенки;

$h_w$  - общая наклонная высота стенки.

7.7.13.3 Перфорированные сортовые профили (швеллер,  $\Sigma$ -, С- и Z-образные) с щелевой перфорацией (см. рисунок 7.24), так называемые термопрофили, следует рассчитывать при условии, что при определении параметров сечения профиля ослабление его отверстиями будет учтено путем введения эффективной толщины.



1; 2 - зоны ослаблений, по которым следует выполнять расчет

Рисунок 7.24 - Параметры щелевой перфорации термопрофилей

7.7.13.4 В общем случае пластинки (зона 1, рисунок 7.24) стенки или полки с щелевой перфорацией и неравномерным распределением напряжений по ширине, критическое напряжение может быть определено формулой

$$\sigma_{cr} = k_{\sigma} \frac{\pi^2 D}{h^2 t}; \tag{7.112}$$

где  $k_{\sigma} = \frac{8(1 + \sqrt{k_2 + k_2\nu - \nu})}{\sqrt{(1 + \psi)^2 + 0,112(1 - \psi)^2} + (1 + \psi)}$ ;

$$k_2 = \frac{k h}{k h_1 + h_0};$$

$$k = 24(1 - \nu)\beta \frac{d^2}{ac};$$

$h$  - ширина пластинки (см. рисунок 7.24);

$h_1$  - суммарная ширина участков пластинки без просечек;

$h_0$  - ширина участка с просечками;

$d$  - шаг щелевых отверстий в направлении ширины пластинки;

$a$  - шаг щелевых отверстий вдоль длины пластинки;

$c$  - длина щелевого отверстия;

$\beta$  - коэффициент, определяемый по таблице 7.13.

Таблица 7.13 - Значения коэффициентов  $\beta$

$a/d$	2,5	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	$\infty$
$\beta$	0,249	0,263	0,281	0,299	0,307	0,313	0,333

7.7.13.5 По критическому напряжению определяют приведенную гибкость пластинки

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{R_{yn}}{\sigma_{cr}}},$$

по которой в соответствии с 7.3.1.7 вычисляют коэффициент редуции  $\rho$  и определяют  $t_{ef}$  пластинки с перфорациями. Далее расчет проводят в соответствии с 7.3.1.7 и 7.3.1.8 как для профиля, у которого перфорированная стенка имеет приведенную толщину  $t_{ef}$ .

7.7.13.6 Размеры просечек для обеспечения превышения  $\sigma_{cr}$  зоны 2 (рисунок 7.24) перфорации над  $\sigma_{cr}$  всей перфорированной пластинки стенки или полки профиля (см. рисунок 7.24), должны отвечать требованию:

$$\frac{a}{h} < 0,907 + 0,832 \frac{c}{a} - 8,84 \frac{d}{h} + 0,944 \frac{h_0}{h}. \quad (7.113)$$

## 8 Кассетные профили, раскрепленные гофрированными листами

### 8.1 Общие положения

8.1.1 Кассетный профиль представляет собой большой профиль в виде лежащего швеллера с отгибами стенок, как это показано на рисунке 8.1. Предполагается, что узкие отгибы стенок должны быть раскреплены из плоскости прикрепляемым к ним гофрированным стальным листом.

8.1.2 Несущую способность стенок кассетных профилей на срез и восприятие местной поперечной нагрузки определяют в соответствии с 7.7.9 и 7.7.11, но с учетом значения  $M_c$ .

Предельный момент  $M_c$  для кассетного профиля определяют по 8.2.1 и 8.2.2 с учетом следующего:

- геометрические размеры соответствуют диапазонам, приведенным в таблице 8.1;
- высота гофров на широкой полке  $h_u$  не превышает  $h/8$ , где  $h$  - общая высота кассетного профиля.

8.1.3 Как вариант, предельный момент для кассетного профиля может быть определен посредством испытаний. При этом испытательное оборудование не должно создавать местные нагрузки в элементе сечения кассетного профиля.

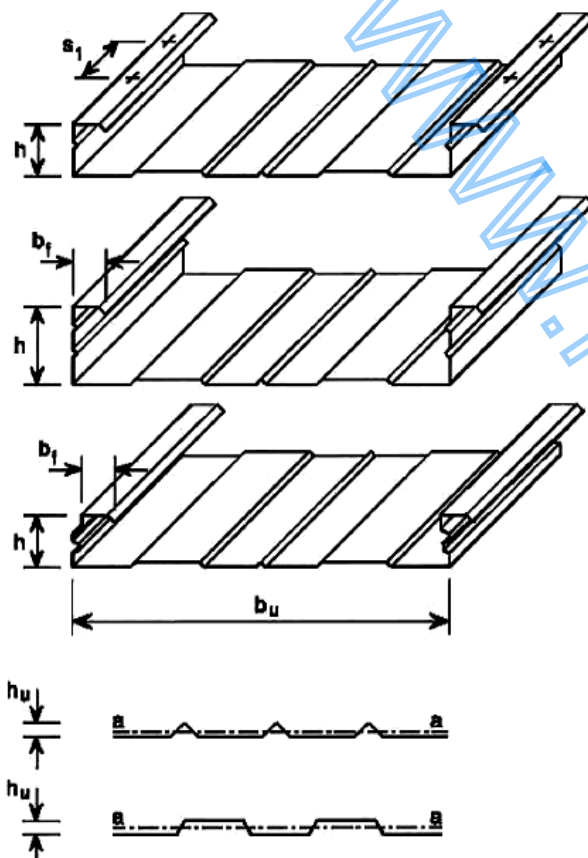


Рисунок 8.1 - Типовая геометрия кассетных профилей

Таблица 8.1 - Предельные параметры кассетного профиля

Наименование параметра	Предельные значения параметра
Толщина листа	$0,6 \text{ мм} \leq t_{\text{ном}} \leq 1,5 \text{ мм}$
Ширина отгиба стенки	$30 \text{ мм} \leq b_f \leq 60 \text{ мм}$
Высота стенки	$60 \text{ мм} \leq h \leq 200 \text{ мм}$
Ширина полки	$300 \text{ мм} \leq b_u \leq 600 \text{ мм}$
Момент инерции на единицу ширины	$I_a / b_u \leq 10 \text{ мм}^4 / \text{мм}$ $s_1 \leq 1000 \text{ мм}$

## 8.2 Несущая способность при действии изгибающего момента

### 8.2.1 Широкая полка сечения сжата

Предельный момент для кассетного профиля при сжатой широкой полке определяют с использованием поэтапной процедуры, представленной на рисунке 8.2:

- этап 1. Определяют эффективную площадь в всех сжатых частях поперечного сечения, основываясь на отношении напряжений  $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$ , полученных с использованием эффективной ширины сжатых полок, но при полной площади стенок;

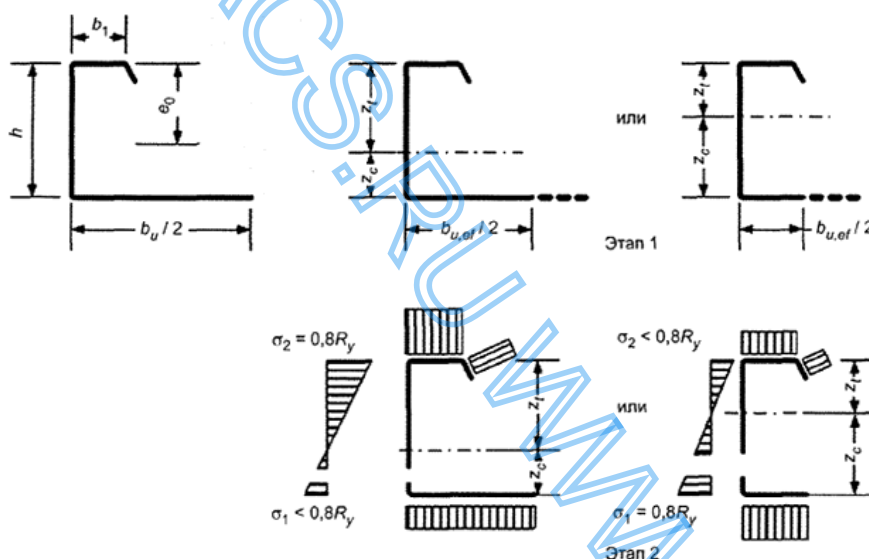


Рисунок 8.2 - Определение предельного момента при сжатой широкой полке

- этап 2. Находят центр тяжести эффективного поперечного сечения и определяют предельный момент  $M_c$  по формуле

$$M_c = 0,8W_{\text{ef, min}} R_y. \quad (8.1)$$

### 8.2.2 Широкая полка сечения растянута

8.2.2.1 Предельный момент для кассетного профиля с растянутой широкой полкой определяют с использованием поэтапной процедуры, представленной на рисунке 8.3:

- этап 1. Определяют центр тяжести полного поперечного сечения;

- этап 2. Определяют эффективную ширину широкой полки  $b_{u, \text{ef}}$  с учетом ее возможного искривления по формуле

$$b_{u, \text{ef}} = \frac{53,3 \cdot 10^6 e_0^2 t^3 t_{\text{ef}}}{h L b_u^3}, \quad (8.2)$$

где  $b_u$  - полная ширина широкой полки;

$e_0$  - расстояние от центральной оси полного поперечного сечения до центральной оси узких полок;

$h$  - общая высота кассетного профиля;

$L$  - пролет кассетного профиля;

$t_{eq}$  - эквивалентная толщина широкой полки, вычисляемая по формуле

$$t_{eq} = (12I_a / b_u)^{1/3}, \quad (8.3)$$

где  $I_a$  - собственный момент инерции сечения широкой полки (см. рисунок 7.19);

- этап 3. Определяют эффективную площадь всех сжатых частей, основываясь на отношении напряжений  $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$ , полученных с использованием эффективной ширины полок, но при полной площади стенок;

- этап 4. Находят центр тяжести эффективного поперечного сечения и определяют несущую способность  $M_b$  из условия потери устойчивости плоской формы изгиба, используя следующие выражения:

$$M_b = 0,8\beta_b W_{ef} R_y \quad M_b \leq 0,8W_{ef,t} R_y, \quad (8.4)$$

где  $W_{ef} = I_{y,ef} / Z_c$ ;  $W_{ef,t} = I_{y,ef,t} / Z_c$ ;

$\beta_b$  - поправочный коэффициент, равный:

$\beta_b = 1,0$  - при  $s_1 \leq 300$  мм;

$\beta_b = 1,15$  - при  $300 \text{ мм} \leq s_1 \leq 1000$  мм;

$s_1$  - расстояние между метизами (шаг), раскрепляющее узкие полки из плоскости (см. рисунок 8.1).

Искривление полки при определении прогибов не учитывается.

8.2.2.2 Для упрощения практических расчетов момент, воспринимаемый кассетным профилем с широкой полкой без элементов жесткости, может быть определен, приближенно принимая эффективную площадь сечения растянутой широкой полки равной площади сечения двух сжатых узких полок.

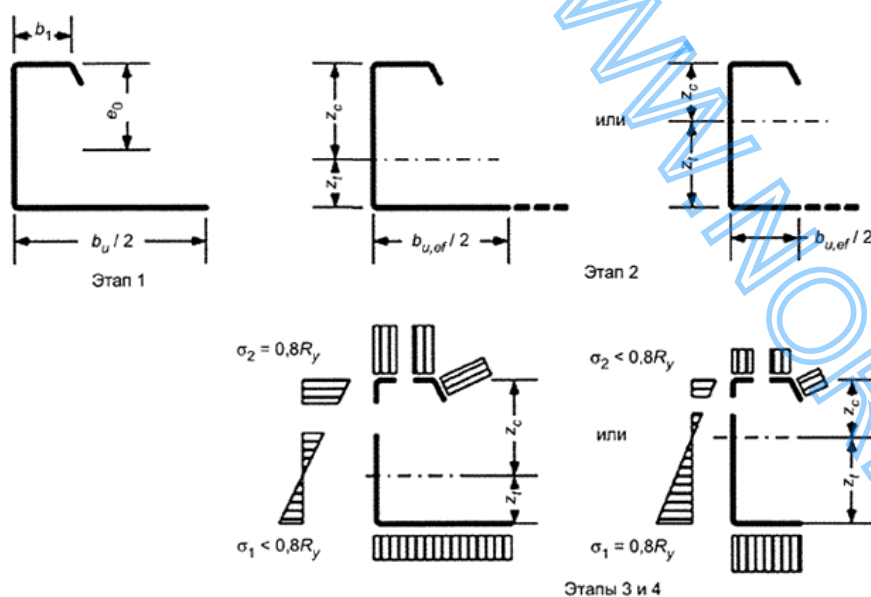


Рисунок 8.3 - Определение предельного момента при растянутой широкой полке

## 9 Предельное состояние по деформациям конструкций

9.1 При расчете холодноформованных профилей по второму предельному состоянию следует использовать геометрические характеристики эффективного поперечного сечения с учетом редукиции сжатых частей сечений. Прогибы определяют в предположении упругой работы стали.

9.2 Для расчета эффективной площади и эффективного момента инерции сечений по 7.3 по требованиям деформативности для второго предельного состояния гибкость  $\bar{\lambda}_{p,ser}$  может быть определена по формуле\*

$$\bar{\lambda}_{p,ser} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{com,n}}{R_y}}, \quad (9.1)^*$$

\* Формула соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

где  $\sigma_{com,n}$  - максимальное сжимающее напряжение от реальной нормативной нагрузки (рассчитанное на основе эффективного поперечного сечения) в соответствующем элементе.

9.3 Как вариант, момент инерции сечения  $I_f$  при определении прогибов может быть рассчитан с использованием интерполяции полного и эффективного поперечных сечений по формуле

$$I_f = I_g - \frac{\sigma_g}{\sigma} (I_g - I(\sigma)_{ef}), \quad (9.2)$$

где  $I_g$  - момент инерции полного поперечного сечения;

$\sigma_g$  - максимальное сжимающее напряжение от изгиба, при расчете по второй группе предельных состояний, основанное на полном поперечном сечении (в формуле со знаком "плюс");

$I(\sigma)_{ef}$  - момент инерции эффективного поперечного сечения с учетом потери местной устойчивости, вычисленной при максимальном напряжении  $\sigma \geq \sigma_g$ . Максимальным напряжением является наибольшее по абсолютному значению напряжение в пределах рассматриваемой расчетной длины элемента.

9.4 Момент инерции эффективного сечения  $I_{ef}$  (или  $I_f$ ) может быть принят переменным вдоль пролета. Как вариант может использоваться постоянное значение момента инерции, полученное, исходя из максимального абсолютного момента в пролете от нормативной нагрузки.

## 10 Расчет соединений

### 10.1 Расчет несущей способности элементов в соединениях на метизах

10.1.1 В соединениях конструкций из тонкостенных гнутых профилей используют следующие типы соединений:

- на болтах нормальной точности с шайбами под головкой винта и гайкой;
- на самонарезающих винтах, установленных в предварительно просверленные отверстия диаметром на 0,5-0,8 мм меньше, чем диаметр стержня винта по резьбе;
- на самонарезающих, самосверлящих винтах, установленных без предварительного сверления отверстий;
- на вытяжных заклепках со стальным корпусом;
- дюбелях, установленных с помощью порохового монтажного пистолета для соединений элементов ЛСТК толщиной не менее 3 мм.

10.1.2 Несущую способность соединений на вытяжных заклепках, самонарезающих винтах и дюбелях допускается определять на основании данных, приведенных в национальных стандартах, стандартах организаций на изделия, а также на основании значений нормативной несущей способности метизов  $F_{0n}$ , полученных по результатам испытаний. В этом случае несущую способность одного метиза определяют по формуле

$$F_0 = \frac{F_{0n}}{\gamma_{m2}}, \quad (10.1)$$

где  $F_{0n}$  - нормативная несущая способность метиза по одному из условий работы соединения, установленная по стандарту организации-изготовителя на изделие или полученная по результатам испытаний;

$\gamma_{m2}$  - коэффициент надежности соединения, принимаемый по 10.1.15.

10.1.3 Расчетную несущую способность вытяжных заклепок в соединениях, работающих на сдвиг, определяют из следующих условий:

- из условия смятия соединяемых элементов расчетную несущую способность одной заклепки определяют по формулам:

$$F_b = \alpha \cdot R_{un} \cdot d \cdot t / \gamma_{m2}, \text{ но} \quad (10.2)$$

$$F_b \leq R_{un} \cdot e_1 \cdot t / (1,2 \cdot \gamma_{m2}), \quad (10.3)$$

где  $\alpha$  - коэффициент, принимаемый по таблице 10.1;

$R_{un}$  - временное сопротивление стали соединяемых элементов, принимаемое по таблице 6.2;

$d$  - диаметр заклепки;

$t$  - толщина более тонкого из соединяемых элементов;

$e_1$  - расстояние, приведенное на рисунке 10.1;

Таблица 10.1 - Значения коэффициента  $\alpha$

Наименование крепежного элемента	Формулы для определения коэффициента $\alpha$
Вытяжные заклепки	При $t = t_1$ $\alpha = 3,6 \sqrt{t/d} \leq 2,1$ при $t_1 \geq 2,5t$ $\alpha = 2,1$ ; при $t < t_1 \leq 2,5t$ $\alpha$ - по линейной интерполяции
Самонарезающие винты	При $t = t_1$ $\alpha = 3,2 \sqrt{t/d} \leq 2,1$ при $t_1 \geq 2,5t$ и $t < 1,0$ мм $\alpha = 3,2 \sqrt{t/d} \leq 2,1$ при $t_1 \geq 2,5t$ и $t \geq 1,0$ мм $\alpha = 2,1$ ; при $t < t_1 \leq 2,5t$ $\alpha$ - по линейной интерполяции
Дюбели	$\alpha = 3,2 \sqrt{t/d} \leq 2,1$
В настоящей таблице применены следующие условные обозначения: $t$ - толщина наиболее тонкого из соединяемых элементов; $t_1$ - толщина наиболее толстого из соединяемых элементов.	

- из условия прочности соединяемых элементов на разрыв с учетом ослабления отверстиями под заклепки расчетную несущую способность заклепочного соединения определяют по формуле

$$F_n = A_{net} \cdot R_{yn} / \gamma_{m2}, \quad (10.4)$$

где  $A_{net}$  - площадь сечения нетто наиболее тонкого соединяемого элемента;

- из условия среза тела заклепки расчетную несущую способность одной заклепки следует определять по формуле

$$F_v = F_{vn} / \gamma_{m2}, \quad (10.5)$$

где  $F_{vn}$  - нормативная несущая способность заклепки на срез, устанавливаемая по стандарту организации-изготовителя на изделие или по результатам испытаний (см. 10.1.2).



10.1.4 Расчетную несущую способность вытяжных заклепок в соединениях, работающих на растяжение, с учетом разрыва тела заклепки  $F_t$  или с учетом возможного отрыва более тонкого соединяемого элемента  $F_p$  следует определять по результатам испытаний в соответствии с 10.1.2.

10.1.5 Расчетную несущую способность самонарезающих и самосверлящих винтов в соединениях, работающих на сдвиг, определяют из следующих условий:

- из условия смятия соединяемых элементов расчетную несущую способность одного винта  $F_b$  определяют по формуле (10.2), где  $d$  - номинальный диаметр винта;

- из условия прочности соединяемых элементов на разрыв с учетом ослабления отверстиями под самонарезающие винты расчетную несущую способность соединения  $F_n$  определяют по формуле (10.4);

- из условия среза тела винта расчетную несущую способность одного винта  $F_v$  определяют по формуле (10.5), где  $F_{vn}$  - несущая способность самонарезающего винта на срез, устанавливаемая по стандарту организации-изготовителя на изделие или по результатам испытаний (см. 10.1.2).

10.1.6 Расчетную несущую способность самонарезающих и самосверлящих винтов в соединениях, работающих на растяжение, определяют из следующих условий:

- из условия прочности соединяемого элемента на отрыв через пресс-шайбу расчетную несущую способность одного винта при действии статических нагрузок определяют по формуле

$$F_p = d_w \cdot t \cdot R_{un} / \gamma_{m2}; \quad (10.6)$$

- из условия прочности соединяемого элемента на отрыв через пресс-шайбу расчетную несущую способность одного винта при действии ветровых нагрузок в сочетании со статическими и без них определяют по формуле

$$F_p = 0,5 \cdot d_w \cdot t \cdot R_{un} / \gamma_{m2}, \quad (10.7)$$

где  $d_w$  - диаметр пресс-шайбы или головки винта;

$t$  - толщина элемента, испытывающего вырыв через пресс-шайбу;

- из условия вырыва винта из базового элемента (основного металла) расчетную несущую способность одного винта определяют по формулам:

$$F_0 = 0,45 \cdot d \cdot t_{sup} \cdot R_{un,sup} / \gamma_{m2}, \text{ если } t_{sup} / S < 1; \quad (10.8)$$

или

$$F_0 = 0,65 \cdot d \cdot t_{sup} \cdot R_{un,sup} / \gamma_{m2}, \text{ если } t_{sup} / S \geq 1, \quad (10.9)$$

где  $t_{sup}$  - толщина базового элемента, к которому крепится винт (основного металла);

$d$  - номинальный диаметр винта;

$R_{un,sup}$  - временное сопротивление стали метиза;

$S$  - шаг резьбы винта;

- расчетную несущую способность одного самонарезающего винта из условия разрыва тела винта  $F_t$  определяют по стандарту организации-изготовителя на изделие или по результатам испытаний (см. 10.1.2).

10.1.7 В соединениях на пристреливаемых дюбелях временное сопротивление стали дюбелей при растяжении должно быть не менее 2000 МПа при твердости по Роквеллу не менее 55.

10.1.8 Расчетную несущую способность пристреливаемых дюбелей в соединениях, работающих на сдвиг, определяют из следующих условий:

- из условия смятия соединяемых элементов расчетную несущую способность одного дюбеля определяют по формуле

$$F_b = 3,2 \cdot R_{un} \cdot d \cdot t / \gamma_{m2}, \quad (10.10)$$

где  $d$  - номинальный диаметр дюбеля;

$t$  - толщина более тонкого из соединяемых элементов;

- из условия прочности соединяемых элементов на разрыв с учетом ослабления отверстиями под дюбели расчетную несущую способность соединения  $F_n$  определяют по формуле (10.4);

- из условия среза тела дюбеля расчетную несущую способность одного дюбеля  $F_v$  определяют по формуле (10.5), где  $F_{vn}$  - несущая способность дюбеля на срез, устанавливаемая по стандарту организации-изготовителя на изделие или по результатам испытаний (см. 10.1.2).

10.1.9 Расчетную несущую способность пристреливаемых дюбелей в соединениях, работающих на растяжение, определяют из следующих условий:

- из условия прочности соединяемого элемента на отрыв через головку дюбеля несущую способность одного дюбеля  $F_p$  определяют:

а) при действии статических нагрузок - по формуле (10.6);

б) при действии ветровых нагрузок в сочетании со статическими и без них - по формуле (10.7),

где  $d_w$  - диаметр головки дюбеля;

- из условий вырыва одного дюбеля из базового элемента расчетную несущую способность  $F_0$ , а также разрыва тела дюбеля  $F_t$  определяют по стандарту организации-изготовителя на изделие или по результатам испытаний (см. 10.1.2).

10.1.10 Требуемое количество дюбелей при действии на соединение силы  $N$ , проходящей через центр тяжести соединения, определяют по формулам:

- если сила  $N$  вызывает сдвиг соединения:

$$n_c \geq N / F_{\min}, \quad (10.11)$$

где  $F_{\min}$  - наименьшее из значений  $F_b$  и  $F_v$ , вычисленных согласно 10.1.8;

- если сила  $N$  вызывает растяжение соединения:

$$n_p \geq (N / F_{\min}) \cdot \alpha_1, \quad (10.12)$$

где  $F_{\min}$  - минимальное из значений  $F_p$ ,  $F_0$  и  $F_t$ , вычисленных согласно 10.1.9;

$\alpha_1 = 1,1$  - коэффициент, учитывающий многократное воздействие нагрузки.

10.1.11 Несущую способность одноболтового соединения следует определять в зависимости от вида напряженного состояния по формулам:

- при срезе:

$$F_v = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c; \quad (10.13)$$

- при смятии:

$$F_b = R_{bp} \cdot d_b \cdot \sum t \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c; \quad (10.14)$$

- при растяжении:

$$F_t = R_{bt} \cdot A_{bn} \cdot \gamma_c, \quad (10.15)$$

где  $R_{bs}$ ,  $R_{bt}$  - расчетные сопротивления одноболтовых соединений при срезе и растяжении в соответствии с СП 16.13330.2017 (таблица Г.5);

$R_{bp}$  - расчетное сопротивление одноболтового соединения при смятии, принимаемое в соответствии с таблицей 10.2 (при смятии элементов из оцинкованной стали) либо СП 16.13330.2017 (таблица Г.6) (при смятии неоцинкованных фасонки и других элементов);

$A_b$ ,  $A_{bn}$  - площадь сечения стержня болта брутто и резьбовой части нетто соответственно;

$n_s$  - число расчетных срезов одного болта;

$d_b$  - наружный диаметр стержня болта;

$\sum t$  - наименьшая суммарная толщина соединяемых элементов, смещаемых в одном направлении;

$\gamma_b$  - коэффициент условия работы соединения, определяемый по СП 16.13330.2017 (таблица 41);

$\gamma_c$  - коэффициент условий работы (см. таблицу 5.1).

Таблица 10.2 - Расчетные сопротивления смятию элементов, соединяемых болтами

Временное сопротивление стали соединяемых элементов $R_{ст}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Расчетные сопротивления $R_{bp}$ , Н/мм <sup>2</sup> , смятию элементов, соединяемых болтами класса точности	
	А	В
300	465	390
330	510	430
360	560	475
390	610	515
420	640	540
450	690	580
480	730	615
510	775	655

Примечание - Значения расчетных сопротивлений, указанные в настоящей таблице, вычислены по формулам СП 16.13330.2017 (раздел 4) с округлением до 5 Н/мм<sup>2</sup>.

10.1.12 При действии на болтовое соединение силы  $N$ , проходящей через центр тяжести соединения, распределение этой силы между болтами следует принимать равномерным. В этом случае количество болтов в соединении следует определять по формуле

$$n_f \geq N / F_{\min}, \quad (10.16)$$

где  $F_{\min}$  - минимальное из значений  $F_v$ ,  $F_b$  и  $F_t$ , вычисленных согласно 10.1.11.

10.1.13 При действии на болтовое соединение момента, вызывающего сдвиг соединяемых элементов, распределение усилий на болты следует принимать пропорционально расстояниям от центра тяжести соединения до рассматриваемого болта.

Усилие в наиболее нагруженном болте  $N_{b,\max}$  не должно превышать меньшего из значений  $F_M$  и  $F_b$ , вычисленных по 10.1.11.

10.1.14 При одновременном действии на метиз сдвига  $N_c$  и растяжения  $N_p$ , при условии, что  $N_c$  и  $N_p$  определены расчетом, наиболее напряженный метиз следует проверять по формуле

$$\sqrt{\left(\frac{N_p}{F_t}\right)^2 + \left(\frac{N_c}{F_v}\right)^2} \leq 1. \quad (10.17)$$

При этом дополнительно следует проверять несущую способность метиза по одновременному смятию и вырыву из-под головки метиза наиболее тонкого из соединяемых элементов по формуле

$$\sqrt{\left(\frac{N_p}{F_p}\right)^2 + \left(\frac{N_c}{F_b}\right)^2} \leq 1. \quad (10.18)$$

10.1.15 Значения коэффициента  $\gamma_{m2}$  для винтовых, заклепочных и дюбельных соединений в зависимости от характера их работы приведены в таблице 10.3.

Таблица 10.3 - Коэффициенты условий работы соединений на самонарезающих винтах, вытяжных заклепках и дюбелях

Характер работы соединения	$\gamma_{m2}$		
	Самонарезающие винты	Вытяжные заклепки	Дюбели
Соединения с метизами, работающими на срез			
Смятие соединяемых элементов	$0,5 \leq t \leq 0,7$ мм	1,6	1,5
	$0,7 < t \leq 2,0$ мм	1,45	1,25

Разрыв соединяемого элемента по сечению нетто	1,1	1,1	
Соединения с метизами, работающими на растяжение			
Отрыв элемента через пресс-шайбу	1,2	1,25	1,25
Вырыв метиза из элемента	1,1	-	
Примечание - Во всех других случаях работы соединений, а также если нормативная несущая способность метиза определена по результатам испытаний (см. 10.1.2), $\gamma_{m2} = 1,25$ .			

10.1.16 При применении соединения на самонарезающих и самосверлящих винтах, вытяжных заклепках и дюбелях должны быть соблюдены условия, приведенные в таблице 10.4.

Таблица 10.4

Тип соединения на метизах	Характер работы соединения	Условия применения метизов в соединении	Диапазон применения соединения
Соединения на самонарезающих и самосверлящих винтах	Сдвиг	$F_v \geq 1,2F_b$	$3,0 \leq d \leq 8,0$ мм $R_{un} \leq 550$ МПа
	Растяжение	$F_t \geq 1,2F_p; F_t \geq 1,2F_0$	$3,0 \leq d \leq 8,0$ мм $0,5 \leq t \leq 1,5$ мм $t_1 \geq 0,9$ мм $R_{un} \leq 550$ МПа
Соединения на вытяжных заклепках	Сдвиг	$F_v \geq 1,2F_b$	$2,6 \leq d \leq 6,4$ мм
	Растяжение	$F_t \geq 1,2F_p$	$R_{un} \leq 550$ МПа
Дюбельные соединения	Сдвиг	$F_v \geq 1,5F_b$	$3,0 \leq d \leq 8,0$ мм Для $d=3,7$ мм $t_{sup} \geq 4,0$ мм Для $d=4,5$ мм $t_{sup} \geq 6,0$ мм Для $d=5,2$ мм $t_{sup} \geq 8,0$ мм $R_{un} \leq 550$ МПа
	Растяжение	$F_t \geq 1,2F_p; F_t \geq 1,2F_0$	$3,0 \leq d \leq 8,0$ мм Для $d=3,7$ мм $t_{sup} \geq 4,0$ мм Для $d=4,5$ мм $t_{sup} \geq 6,0$ мм Для $d=5,2$ мм $t_{sup} \geq 8,0$ мм $0,5 \leq t \leq 1,5$ мм $t_1 \geq 6,0$ мм $R_{un} \leq 550$ МПа

В настоящей таблице применены следующие обозначения:

$t$  - толщина наиболее тонкого из соединяемых элементов;

$t_1$  - толщина наиболее толстого из соединяемых элементов;

$d$  - номинальный диаметр метиза;

$t_{sup}$  - толщина базового элемента, к которому крепится метиз (винт или дюбель);

$R_{un}$  - временное сопротивление стали соединяемых элементов.

Примечания

1 Метизы могут быть использованы в другом диапазоне применения, если их несущая способность определена по результатам испытаний.

2 Допускается, что закладная головка заклепки/головка винта может быть расположена над более тонким из соединяемых элементов.

10.1.17 Прогнозируемый срок службы метизов должен быть не менее срока службы несущих конструкций каркаса. Подтверждение срока службы осуществляется на основании опытных данных или натурных испытаний в соответствии с действующими стандартами.

## 10.2 Требования к расстановке метизов в соединениях

10.2.1 Минимально допустимые расстояния между метизами и от их осей до краев соединяемых элементов представлены на рисунке 10.1 и принимаются по таблице 10.5.

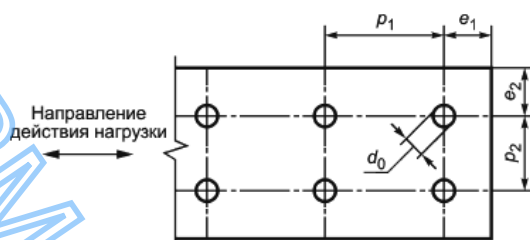


Рисунок 10.1 - Расположение метизов в соединении

Таблица 10.5 - Минимальные допустимые расстояния между метизами от их осей до краев соединяемых элементов

Размер по рисунку 10.1	Тип метиза			
	Заклепка $2,6 \leq d \leq 6,4$	Самонарезающий винт $3,0 \leq d \leq 8,0$	Дюбель $2,6 \leq d \leq 6,4$	Болт (min M6*)
$e_1$	$1,5 d_0^{**}$	$3,0 d$	$4,5 d$	$2,0 d_0$ (при $t \geq 2,0$ ) $3,0 d_0$ (при $t \leq 2,0$ )
$e_2$	$1,5 d_0$	$1,5 d$	$4,5 d$	$1,5 d_0$
$p_1$	$3,0 d_0$	$3,0 d$	$4,5 d$	$2,5 d_0$
$p_2$	$3,0 d_0$	$3,0 d$	$4,5 d$	$2,5 d_0$

\* По ГОСТ Р ИСО 8765.

\*\*  $d_0$  - диаметр отверстия под заклепку или болт.

10.2.2 Диаметр отверстий под винты должен отвечать требованиям технических регламентов изготовителя. Эти регламенты должны быть основаны на следующих критериях:

- момент закручивания должен быть более, чем момент, требуемый для нарезания резьбы в соединяемом элементе;
- момент закручивания должен быть менее, чем момент, вызывающий срез резьбы или головки метиза;
- момент закручивания должен быть менее 2/3 момента, срезающего головку метиза;
- закладная головка заклепки, а также головки самонарезающих винтов и дюбелей расположены над более тонким из соединяемых листов;
- приведенные выше правила расчета вытяжных заклепок применимы только в тех случаях, когда диаметр отверстия превышает диаметр заклепки не более чем на 0,1 мм.

## 10.3 Требования и правила проектирования соединений, выполненных точечной сваркой

10.3.1 Точечную сварку, выполняемую контактным методом либо методом проплавления, следует использовать для прокатного или оцинкованного проката толщиной до 4,0 мм при условии: более тонкая присоединяемая часть имеет толщину не более 3,0 мм.

10.3.2 Расчетную несущую способность сварных точек вычисляют по приведенным ниже формулам.

Несущую способность на смятие и разрыв  $N_c$  вычисляют по формулам:

если  $t < t_1 < 2,5t$ ,

$$N_c = 2,7\sqrt{t}d_s R_u; \quad (10.19)$$

если  $t_1 \geq 2,5t$ ,

$$0,7d_s^2 R_u \leq N_c = 2,7\sqrt{t}d_s R_u \leq 3,1d_s R_u, \quad (10.20)$$

где  $t$  - толщина наиболее тонкого присоединяемого элемента или листа, мм;

$t_1$  - толщина наиболее толстого присоединяемого элемента или листа;

$d_s$  - внутренний диаметр электрозаклепки, равный:

- при сварке проплавлением  $d_s = 0,5t + 5$  мм;

- при сварке сопротивлением  $d_s = 5\sqrt{t}$ .

Несущую способность края элемента на вырыв  $N_p$  вычисляют по формуле

$$N_p = 1,4e_1 R_u. \quad (10.21)$$

Несущую способность сечения нетто  $N_n$  вычисляют по формуле

$$N_n = A_{net} R_u, \quad (10.22)$$

где  $A_{net}$  - площадь поперечного сечения нетто присоединяемого элемента.

Несущую способность на срез  $N_s$  вычисляют по формуле

$$N_s = \frac{\pi d_s^2 R_u}{4}. \quad (10.23)$$

Примечание - В соединении должны соблюдаться следующие условия:

$$N_s \geq 1,25N_c; N_s \geq 1,25N_p \text{ и } \sum N_s \geq 1,25N_n.$$

Расположение точек сварки в соединении приведены на рисунке 10.1, где  $2d_s \leq e_1 \leq 6d_s$ ;  $3d_s \leq p_1 \leq 8d_s$ ;  $e_2 \leq 4d_s$ ;  $3d_s \leq p_2 \leq 6d_s$ .

10.3.3 Размер  $d_s$  сварной точки в реальных условиях следует проверять посредством испытаний на срез с использованием нахлесточных образцов с одиночным креплением, как показано на рисунке 10.2. Толщины соединяемых элементов образца должны быть равны реализованным в каждом конкретном случае.

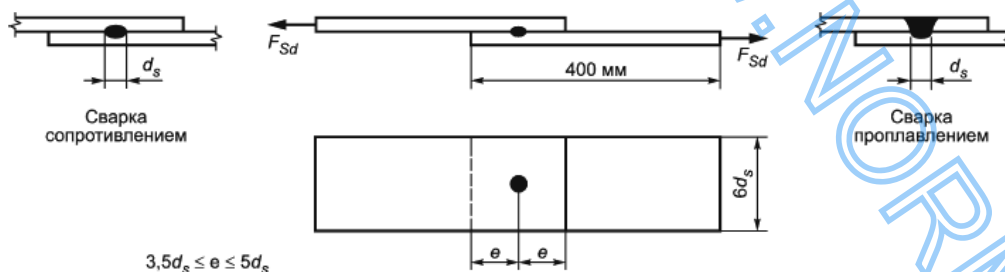


Рисунок 10.2 - Образцы для испытаний на срез сварных точек

## 10.4 Требования к проектированию сварных соединений с угловыми швами

10.4.1 Требования настоящего подраздела следует применять при проектировании сварных соединений внахлестку, выполненных дуговой сваркой, с основным материалом толщиной не более 4,0 мм.

10.4.2 Размеры сварных швов необходимо выбирать таким образом, чтобы прочность соединения определялась толщиной присоединяемого элемента или листа, но не сварным швом. Допускается, что это требование выполняется, если сечение сварного шва не менее толщины присоединяемого элемента или листа.

10.4.3 Расчетную несущую способность углового сварного шва следует определять по СП 16.13330 в соответствии с методикой для элементов толщиной 4 мм и более.

10.4.4 Если в одном соединении используют сочетание лобовых и фланговых угловых швов, общую несущую способность сварного соединения следует определять как сумму несущих способностей лобовых и фланговых швов. При этом необходимо учитывать положение центра тяжести и соответствующее распределение усилий.

10.4.5 Угловые швы с эффективной длиной менее  $8t$  ( $t$  - толщина более тонкого из соединяемых элементов) в расчетных соединениях не допускаются.

## 10.5 Дуговая точечная сварка

10.5.1 Дуговую точечную сварку следует применять только в соединениях, работающих на сдвиг, и не следует использовать для соединения элементов или листов, общая толщина  $\sum t$  которых превышает 4 мм.

10.5.2 Дуговая точечная сварка должна иметь внутренний диаметр  $d_s$  не менее 10 мм.

10.5.3 Если толщина присоединяемого элемента или листа менее 0,7 мм, то следует использовать сварную шайбу (см. рисунок 10.3).

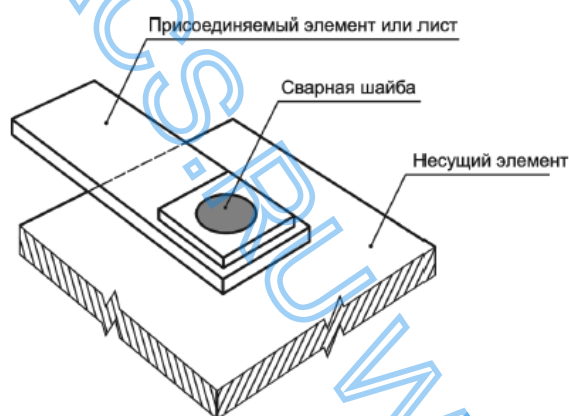


Рисунок 10.3 - Дуговая точечная сварка со сварной шайбой

10.5.4 Минимальные расстояния  $e_{\min}$  от центра круглой дуговой сварной точки до ближайшего края соседней сварной точки или до конца присоединяемого элемента вдоль срезающего усилия вычисляют по формулам:

$$e_{\min} = 1,8 \cdot \frac{N_s}{tR_u} \text{ при } \frac{R_{un}}{R_{yn}} < 1,15; \quad (10.24)$$

$$e_{\min} = 2,1 \cdot \frac{N_s}{tR_u} \text{ при } \frac{R_{un}}{R_{yn}} \geq 1,15. \quad (10.25)$$

10.5.5 Минимальное расстояние от центра круглой сварной точки до края в любом направлении усилия присоединяемого элемента должно быть не менее  $1,5d_w$ , где  $d_w$  - видимый диаметр сварной точки (см. рисунок 10.4).

10.5.6 Минимальное расстояние в свету между овальной сварной точкой и краем листа в любом направлении усилия должно быть не менее  $1,0d_w$ .

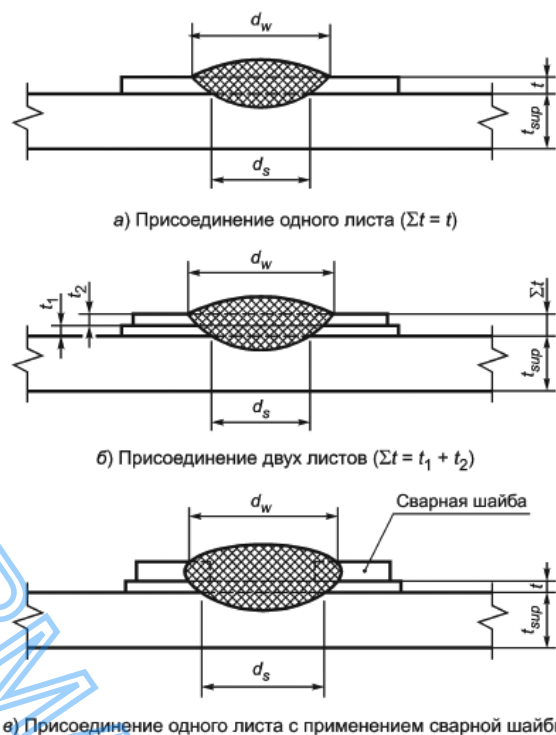


Рисунок 10.4 - Точечная дуговая сварка

10.5.7 Расчетную несущую способность на срез  $N_w$  круглой сварной точки определяют по формуле

$$N_w = \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 R_{wf}, \quad (10.26)$$

где  $R_{wf}$  - расчетное сопротивление по материалу сварной точки;  
 $d_s$  - внутренний диаметр сварной точки, вычисляемый по формуле

$$d_s = 0,7d_w - 1,5\Sigma t, \text{ но } d_s \geq 0,55d_w, \quad (10.27)$$

где  $d_w$  - видимый диаметр дуговой сварной точки (см. рисунок 10.4).

$N_w$  не должно превышать значений, определяемых из следующих условий:

$$\text{если } \frac{d_p}{\Sigma t} \leq 18 \cdot \left(\frac{420}{R_u}\right)^{0,5}, \text{ то } N_w = 1,5d_p \Sigma t \cdot R_u; \quad (10.28)$$

$$\text{если } 18 \cdot \left(\frac{420}{R_u}\right)^{0,5} < \frac{d_p}{\Sigma t} < 30 \cdot \left(\frac{420}{R_u}\right)^{0,5}, \text{ то } N_w = 27 \cdot \left(\frac{420}{R_u}\right)^{0,5} \Sigma t^2 \cdot R_u, \quad (10.29)$$

$$\text{если } \frac{d_p}{\Sigma t} \geq 30 \cdot \left(\frac{420}{R_u}\right)^{0,5}, \text{ то } N_w = 0,9d_p \Sigma t \cdot R_u. \quad (10.30)$$

10.5.8 Расчетная несущая способность на срез  $N_w$  овальной сварной точки определяют по формуле

$$N_w = \left[ \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 + L_w d_s \right] 0,625 R_{uw}, \quad (10.31)$$

при условии, что  $N_w$  не превышает значений, вычисляемых по формуле

$$N_w = (0,5L_w + 1,6d_p) \Sigma t R_u, \quad (10.32)$$

где  $L_w$  - длина овальной сварной точки (см. рисунок 10.5).



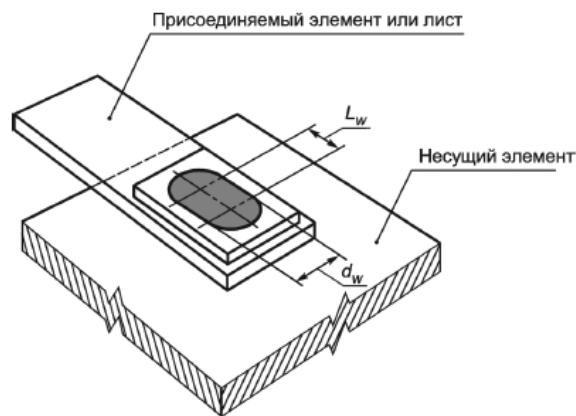


Рисунок 10.5 - Овальная сварная точка

Раздел 10 (Измененная редакция, Изм. N 2).

## 11 Требования к программному обеспечению для расчетов конструкций из стальных тонкостенных холодногнутых оцинкованных профилей

11.1 Компьютерные программы в части процесса верификации должны соответствовать требованиям [ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207](#).

11.2 Компьютерные программы в части процесса полного сопровождения программных средств должны соответствовать требованиям [ГОСТ Р ИСО/МЭК 14764](#).

11.3 Рекомендуется проводить расчеты в программных комплексах, прошедших сертификацию по соответствующим разделам настоящего свода правил.

11.4 При построении конечно-элементной расчетной схемы размеры и конфигурацию конечных элементов следует задавать, исходя из возможностей применяемых конкретных программ, и принимать их такими, чтобы была обеспечена необходимая точность определения усилий.

## 12 Требования по обеспечению коррозионной стойкости

12.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование защиты от коррозии стальных тонкостенных строительных конструкций из холодногнутого профилей и гофрированных листов. Проектирование защиты от коррозии строительных конструкций из стальных тонкостенных холодногнутого оцинкованных профилей следует выполнять в соответствии с [СП 28.13330](#).

В настоящем разделе определены технические требования к защите от коррозии строительных конструкций зданий и сооружений при воздействии газообразных агрессивных сред с температурой от минус 55°C до 100°C.

12.2 Проектирование нового строительства и реконструкции зданий и сооружений с применением конструкций из стальных тонкостенных холодногнутого оцинкованных профилей необходимо осуществлять с учетом опыта эксплуатации аналогичных строительных объектов, при этом следует предусматривать анализ коррозионного состояния конструкций и защитных покрытий с учетом вида и степени агрессивности среды.

12.3 При проектировании защиты от коррозии для нового строительства исходными данными являются:

1) сведения о климатических условиях района по [СП 131.13330](#).

2) характеристики газовой агрессивной среды (газы, аэрозоли): вид и концентрация агрессивного вещества, температура и влажность среды в здании (сооружении) и снаружи с учетом преобладающего направления ветра, а также с учетом возможного изменения характеристик среды в период эксплуатации строительных конструкций;

3) механические, термические и биологические воздействия на строительные конструкции.

12.4 При проектировании защиты от коррозии реконструируемых зданий и сооружений, выполненных с применением конструкций из стальных тонкостенных холодногнутых оцинкованных профилей, исходными являются данные о фактическом состоянии строительных конструкций с анализом причин их повреждения.

12.5 Конструкции зданий и сооружений должны быть доступны для периодической диагностики (непосредственного или дистанционного мониторинга), ремонта или замены поврежденных конструкций. При отсутствии возможности обеспечения этих требований конструкции первоначально должны быть защищены от коррозии на весь период эксплуатации.

12.6 Не допускается проектировать стальные конструкции зданий и сооружений со средами средней и сильной степени агрессивного воздействия.

(Измененная редакция, Изм. N 1).

12.7 Не допускается проектирование стальных конструкций из стали марок 09Г2 и 14Г2 зданий и сооружений, находящихся в слабоагрессивных средах, содержащих сернистый ангидрид или сероводород по группе газов В.

12.8 При проектировании конструкций из разнородных металлов для эксплуатации в агрессивных средах необходимо предусматривать меры по предотвращению контактной коррозии в зонах контакта разнородных металлов.

12.9 Теплотехническими расчетами и проектными решениями должно быть исключено промерзание конструкций отапливаемых зданий и образование конденсата на их поверхности, а также избыточное накопление влаги в ограждающих конструкциях в процессе эксплуатации.

12.10 Форма конструкций и конструктивные решения зданий и сооружений должны исключать образование плохо вентилируемых зон и участков, где возможно накопление агрессивных к строительным конструкциям газов, паров, пыли, влаги.

12.11 Минимальную толщину листов ограждающих конструкций следует определять согласно таблице 12.1.

Таблица 12.1 - Минимальная толщина листов ограждающих конструкций

В миллиметрах

Степень агрессивного воздействия среды	Минимальная толщина листов ограждающих конструкций, применяемых без защиты от коррозии лакокрасочными покрытиями, мм	
	из стального тонколистового проката с горячими цинковыми покрытиями толщиной не менее 19 мкм (или класса не менее 275 по ГОСТ 14918)	из стали марок 10ХНДП, 10ХДП
Неагрессивная	0,5	Определяется агрессивностью воздействия на наружную поверхность*
Слабоагрессивная	-	0,8

\* При условии нанесения лакокрасочных покрытий на поверхность листов со стороны помещения.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

12.12 (Исключен, Изм. N 1).

12.13 Степени агрессивного воздействия сред на металлические конструкции приведены для газообразных сред - в таблице 12.2, твердых сред - в таблице 12.3.

Таблица 12.2 - Степень агрессивного воздействия газообразных сред на металлические конструкции

Влажностный режим помещений Зона влажности (по СП 131.13330)	Группы газов (по СП 28.13330.2017, таблица Б.1)	Степень агрессивного воздействия среды на металлические конструкции		
		внутри отапливаемых зданий	внутри неотапливаемых зданий или под навесами	на открытом воздухе
Сухой Сухая	A	Неагрессивная	Неагрессивная	Слабоагрессивная
	B	То же	Слабоагрессивная	То же
	C	Слабоагрессивная	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная

	D	Среднеагрессивная	То же	Сильноагрессивная
<u>Нормальный</u> Нормальная	A	Неагрессивная	Слабоагрессивная	Слабоагрессивная
	B	Слабоагрессивная	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная
	C	То же	То же	То же
	D	Среднеагрессивная	Сильноагрессивная	Сильноагрессивная
<u>Влажный или мокрый</u> Влажная	A	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная
	B	То же	То же	То же
	C	Сильноагрессивная	Сильноагрессивная	Сильноагрессивная
	D	То же	То же	То же

Примечание - При оценке степени агрессивного воздействия среды не следует учитывать влияние углекислого газа.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

Таблица 12.3 - Степень агрессивного воздействия твердых сред на металлические конструкции

Влажностный режим помещений Зона влажности (по СП 131.13330)	Растворимость твердых сред в воде* и их гигроскопичность	Степень агрессивного воздействия среды на металлические конструкции		
		внутри отапливаемых зданий	внутри неотапливаемых зданий или под навесами	на открытом воздухе
<u>Сухой</u> Сухая	Малорастворимые	Неагрессивная	Неагрессивная	Слабоагрессивная
	Хорошо растворимые малогигроскопичные	То же	Слабоагрессивная	То же
	Хорошо растворимые гигроскопичные	Слабоагрессивная	То же	Среднеагрессивная
<u>Нормальный</u> Нормальная	Малорастворимые	Неагрессивная	Слабоагрессивная	Слабоагрессивная
	Хорошо растворимые малогигроскопичные	Слабоагрессивная	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная
	Хорошо растворимые гигроскопичные	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная
<u>Влажный или мокрый</u> Влажная	Малорастворимые	Слабоагрессивная	Слабоагрессивная	Слабоагрессивная
	Хорошо растворимые малогигроскопичные	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная
	Хорошо растворимые гигроскопичные	То же	То же	Сильноагрессивная

\* Перечень наиболее распространенных растворимых веществ и их характеристики приведен в СП 28.13330.2012 (таблица Б.4).

Примечание - Для частей ограждающих конструкций, находящихся внутри зданий, степень агрессивного воздействия среды следует устанавливать, как для помещений с влажным или мокрым режимом.

12.14 Несущие металлоконструкции каркасов зданий из тонколистовых гнутых профилей и ограждающие конструкции, изготавливаемые из оцинкованного проката с горячим цинковым покрытием класса 275 по ГОСТ 14918, допускается применять только в условиях неагрессивного воздействия среды. Несущие конструкции из этих профилей и ограждающие конструкции из тонколистовой оцинкованной стали с дополнительным лакокрасочным покрытием допускается применять в условиях слабоагрессивного воздействия среды.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

12.15 Выбор марок материалов и толщины защитно-декоративных лакокрасочных покрытий для дополнительной защиты от коррозии оцинкованной стали следует проводить с учетом срока службы лакокрасочного покрытия в конкретных условиях эксплуатации.

12.16 Прогнозируемый срок службы покрытия следует устанавливать по результатам ускоренных климатических испытаний образцов покрытий, представляющих собой фрагменты реальных конструкций. Ускоренные испытания покрытий проводят по ГОСТ 9.401.

### 13 Требования по пожарной безопасности и огнестойкости

13.1 Степень огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков с применением конструкций из стальных тонкостенных холодногнуто оцинкованных профилей следует устанавливать в соответствии с требованиями [2] и СП 2.13130.

13.2 Огнестойкость конструкций из стальных тонкостенных холодногнутых оцинкованных профилей должна быть обеспечена специальными мероприятиями в виде огнестойких покрытий конструктивных элементов или обшивкой из огнестойких плитных материалов, количество слоев которой необходимо подбирать под конкретные противопожарные требования.

13.3 Условие пожарной безопасности конструкции является ограничением для применения различных видов утеплителей в системах, где несущая способность комбинированных стен определяется взаимодействием между легкими стальными профилями и утепляющим наполнителем (например, пенополистиролом или пенополиуретаном), находящимся между стальными профилями.

## Приложение А (обязательное)

### Специальные требования к конструкциям

#### А.1 Требования к прогонам и подобным балочным конструкциям

А.1.1 Требования, приведенные в настоящем подразделе, могут быть применены для прогонов и балок, Z-, С-,  $\Sigma$ -, U-образного и шляпного поперечного сечения с  $h/t < 233$  - для высоты стенки,  $c/t \leq 20$  - для одиночного отгиба и  $d/t \leq 20$  - для двойного краевого отгиба.

А.1.2 Требования настоящего подраздела применяют для раскрепленных из плоскости изгиба неразрезных прогонов, соединенных внахлестку или накладками.

А.1.3 Настоящие требования допускается также применять для холодноформованных элементов, используемых в качестве фахверка, балок перекрытий и других подобных типов балок, которые обычно раскреплены настилом.

А.1.4 Полное непрерывное раскрепление из плоскости изгиба может создаваться стальным настилом с трапециевидными гофрами или другим профилированным стальным листом с конечной жесткостью, непрерывно соединенным с полкой прогона через нижние полки настила. Прогон, соединенный с настилом с трапециевидными гофрами, может считаться раскрепленным из плоскости, если выполняются требования А.1.5. В других случаях (например, при креплении настила через верхние полки) степень закрепления должна основываться либо на опыте, либо определяться испытаниями.

А.1.5 Прогон можно считать раскрепленным в плоскости настила, если настил с трапециевидными гофрами соединен с прогоном и выполнено условие

$$S \geq \left( EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_t + EI_z \cdot \frac{\pi^2}{L^2} \cdot 0,25h^2 \right) \cdot \frac{70}{h^2}, \quad (\text{A.1})$$

где  $S$  - сдвиговая жесткость на единицу длины прогона, обеспеченная настилом по А.1.9 или кассетными панелями по А.1.10 для рассматриваемого элемента, соединенным с ним в каждой волне (если настил крепится к прогону через волну, то вместо  $S$  следует принимать  $0,2S$ );

$I_w$  - секториальный момент инерции сечения прогона;

$I_t$  - момент инерции прогона при свободном кручении;

$I_z$  - момент инерции прогона относительно второстепенной главной оси;

$L$  - пролет прогона;

$h$  - высота прогона.

Примечание - Формулу (А.1) допускается также применять для оценки устойчивости поясов балок из плоскости в сочетании с другими типами настила, при обосновании их соответствующим расчетом.

А.1.6 Прогон должен иметь на опорах детали, препятствующие его кручению и горизонтальному боковому смещению на опорах. Влияние усилий в плоскости настила, которые передаются на опоры прогона, необходимо учитывать при расчете опорных деталей.

А.1.7 Соединение прогона с настилом может допускать частичное закрепление прогона от кручения, которое может быть

представлено в виде угловой связи с жесткостью  $C_D$ . Напряжения в свободном поясе, не соединенном непосредственно с настилом, следует также рассчитывать с учетом влияния изгиба в рабочей плоскости и кручения, включая изгиб из плоскости в результате искривления поперечного сечения.

А.1.8 Если свободный пояс однопролетного прогона сжат при отрицательной нагрузке, то в расчете должно быть учтено увеличение напряжений от кручения и изгиба.

А.1.9 Сдвиговую жесткость на единицу длины настила с трапециевидными гофрами  $S_N$ , Н, соединенного с прогоном в каждой волне, определяют на основании эксперимента либо по формуле

$$S_N = 1000 \sqrt{\ell^3} \cdot (50 + 10 \cdot \sqrt[3]{b_{\text{гоф}}}) \cdot \frac{s}{h_w}, \quad (\text{A.2})$$

где  $\ell$  - расчетная толщина настила, мм;

$b_{\text{гоф}}$  - ширина настила по скату, мм;

$s$  - шаг прогонов, мм;

$h_w$  - высота гофров настила, мм.

А.1.10 Сдвиговую жесткость кассетных профилей  $S_K$ , Н, вычисляют по формуле

$$S_K = \frac{\alpha L b_k}{e_s (b - b_k)}, \quad (\text{A.3})$$

где  $L$  - общая длина сдвиговой диафрагмы вдоль пролета кассетных профилей, мм;

$b$  - общая ширина сдвиговой диафрагмы, мм;

$b_k$  - ширина кассетного профиля, мм;

$\alpha$  - коэффициент жесткости при отсутствии экспериментальных данных (может быть принят равным 2000 Н/мм).

## А.2 Расчет прогонов и балочных конструкций

А.2.1 Прогонь С-образного и Z-образного сечений с дополнительными элементами жесткости на стенке или полке или без них рассчитывают при выполнении следующих условий:

- размеры поперечного сечения находятся в пределах, указанных в таблице А.1;
- прогоны раскреплены из плоскости настилом с трапециевидными гофрами, причем горизонтальное раскрепление должно быть непрерывным;
- прогоны раскреплены от поворота профилированным настилом с трапециевидными гофрами и удовлетворены условия;
- прогоны имеют равные пролеты и равномерно нагружены.

Этот метод не может быть использован:

- для систем, использующих стержни в качестве раскрепления;
- систем с перехлестом и на накладках;
- если приложены осевые силы  $N_y$ .

Таблица А.1 - Ограничения в случае применения приближенного метода расчета

Прогонь	$\ell$ , мм	$b/t$	$h/t$	$h/b$	$c/t$	$b/c$	$L/h$
	$\geq 1,2$	$\leq 55$	$\leq 160$	$\leq 3,43$	$\leq 20$	$\leq 4,0$	$\geq 15$

	≥ 1,2	≤ 55	≤ 160	≤ 3,43	≤ 20	≤ 4,0	≥ 15

A.2.2 Расчетное значение изгибающего момента  $M$  должно удовлетворять следующему условию:

$$\frac{M}{M_{LT,p}} \leq 1, \tag{A.4}$$

где  $M_{LT,p} = R_y \cdot W_{ef,y} \cdot \frac{\chi_{LT}}{k_d}$ ;

$W_{ef,y}$  - момент сопротивления эффективного поперечного сечения относительно оси  $y$ ;

$\chi_{LT}$  - коэффициент, учитывающий потерю устойчивости плоской формы изгиба;

$k_d$  - коэффициент, учитывающий, что часть прогона не раскреплена, определяемый по формуле (A.5) и таблице A.2:

$$k_d = \left( \alpha_1 - \alpha_2 \frac{L}{h} \right) \geq 1,0; \tag{A.5}$$

$\alpha_1, \alpha_2$  - коэффициенты (см. таблицу A.2);

$L$  - пролет прогона;

$h$  - общая высота прогона.

Таблица A.2 - Коэффициенты  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  для формулы (A.5)

Система	Z-образный прогон		С-образный прогон		Σ-образный прогон	
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$
Однопролетная балка, нагрузка вниз	1,0	0	1,1	0,002	1,1	0,002
Однопролетная балка, нагрузка вверх	1,3	0	3,5	0,050	1,9	0,020
Неразрезная балка, нагрузка вниз	1,0	0	1,6	0,020	1,6	0,020
Неразрезная балка, нагрузка вверх	1,4	0,01	2,7	0,040	1,0	0

A.2.3 Редукционный коэффициент  $\chi_{LT} = 1$ , если однопролетная балка работает под нагрузкой, действующей вниз, или в других случаях, если удовлетворено следующее условие:

$$C_D \geq \frac{M_{el,u}^2}{EI_v} \cdot k_{\Phi}, \tag{A.6}$$

где  $M_{el,u}$  - момент в полном поперечном сечении относительно главной оси  $u$  в пределах упругости:

$$M_{el,u} = W_{el,u} R_y; \tag{A.7}$$





$I_v$  - момент инерции полного поперечного сечения относительно второстепенной оси  $v$ ;

$k_{\Phi}$  - коэффициент, учитывающий статическую схему прогона (таблица A.3).

$C_D$  - жесткость угловой связи, определяемая по формуле (A.6).

Примечание - Для С-образных сечений прогонов с равными полками  $I_v = I_x$ ,  $W_u = W_y$  и  $M_u = M_y$ .

Таблица А.3 - Значения коэффициента  $k_{\varphi}$ 

Статическая схема	Значение коэффициента $k_{\varphi}$ при приложении нагрузки	
	вниз	вверх
	-	0,210
	0,07	0,029
	0,15	0,066
	0,10	0,053

А.2.4 Для случаев, которые не рассматриваются в А.2.3, коэффициент  $\varphi_{\varphi}$  рассчитывают по СП 16.13330. Предельный момент при потере устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии  $M_{cr}$  вычисляют по формуле

$$M_{cr} = \frac{k}{L} \cdot \sqrt{GI_t^* EI_v}, \quad (\text{A.8})$$

где  $I_t^*$  - фиктивный момент инерции при свободном кручении, учитывающий эффективность закрепления от кручения, вычисляемый по формуле

$$I_t^* = I_t + C_D \cdot \frac{L^2}{\pi^2 G}, \quad (\text{A.9})$$





здесь  $I_t$  - момент инерции при свободном кручения для прогона;

$$C_D = \frac{1}{(1/C_{D,A} + 1/C_{D,C})}; \quad (\text{A.10})$$

$C_{D,A}$  и  $C_{D,C}$  - крутильные жесткости по А.2.5, А.2.9;

$k$  - коэффициент, учитывающий потерю устойчивости плоской формы изгиба с закручиванием и определяемый по таблице А.4.

Таблица А.4 - Коэффициент  $k$  потери устойчивости плоской формы изгиба с закручиванием для прогонов с горизонтально закрепленной верхней полкой при кручении

Статическая схема	Значение коэффициента $k$ при приложении нагрузки	
	вниз	вверх
	$\infty$	10,3
	17,7	27,7
	12,2	18,3
	14,6	20,5

А.2.5 Значение крутильной жесткости  $C_{D,A}$ , создаваемой настилом с трапециевидными гофрами, соединенным с верхней полкой прогона, с учетом того, что крепления настила к прогону расположены в середине его полки, может быть определено по формуле

$$C_{D,A} = C_{100} k_{b_a} k_t k_{b_R} k_A k_{b_T}, \quad (\text{A.11})$$

где  $k_{b_a} = (b_a / 100)^2$  при  $b_a < 125$  мм;

$k_{b_a} = 1,25(b_a / 100)^2$  при  $125 \text{ мм} \leq b_a < 200$  мм;

$k_t = (t_{\text{ном}} / 0,75)^{1,1}$  при  $t_{\text{ном}} \geq 0,75$  мм, положительное положение;

$$k_t = (t_{\text{ном}} / 0,75)^{1,5} \text{ при } t_{\text{ном}} \geq 0,75 \text{ мм, отрицательное положение;}$$

$$k_t = (t_{\text{ном}} / 0,75)^{1,5} \text{ при } t_{\text{ном}} < 0,75 \text{ мм;}$$

$$k_{bR} = 1,0 \text{ при } b_R \leq 185 \text{ мм;}$$

$$k_{bR} = 185 / b_R \text{ при } b_R > 185 \text{ мм;}$$

- для постоянной нагрузки:

$$k_t = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,08 \text{ при } t_{\text{ном}} = 0,7 \text{ мм, положительное положение;}$$

$$k_t = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,16 \text{ при } t_{\text{ном}} = 0,7 \text{ мм, отрицательное положение;}$$

$$k_t = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,095 \text{ при } t_{\text{ном}} = 1,0 \text{ мм, положительное положение;}$$

$$k_t = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,095 \text{ при } t_{\text{ном}} = 1,0 \text{ мм, отрицательное положение.}$$

Значения коэффициентов при толщине  $0,7 \text{ мм} < t < 1,0 \text{ мм}$  допускается определять линейной интерполяцией:

при  $t < 0,70 \text{ мм}$  - формула недействительна;

при  $t > 1,0 \text{ мм}$  - в формулу подставляют  $t = 1,0 \text{ мм}$ ;

- для подъемной нагрузки (например, отрицательный ветер):

$$k_A = 1,0;$$

$$k_{bT} = \sqrt{\frac{b_{T,\text{max}}}{b_T}}; \text{ если } b_T > b_{T,\text{max}} \text{ иначе } k_{bT} = 1, \quad (\text{A.12})$$

где  $A \leq 12$  - нагрузка, передаваемая балке настилом, кН/м;

$b_a$  - ширина полки прогона, мм;

$b_R$  - ширина волны настила, мм;

$b_T$  - ширина полки настила, прикрепленной к прогону;

$b_{T,\text{max}}$  - по таблице А.5;

$C_{100}$  - коэффициент поворота, равный  $C_{D,A}$ , при  $b_a = 100 \text{ мм}$ .

А.2.6 Если между настилом и прогонами нет зазора, то значение коэффициента поворота  $C_{100}$  определяют по таблице А.5.

А.2.7 Значение  $C_{D,A}$  может быть принято равным  $130P$ , кН/м, где  $P$  - количество креплений настила к прогону на 1 пог.м его длины (но не более чем одно на волну настила), при соблюдении следующих условий:

- ширина  $b$  полки настила, которой он крепится, не должна превышать 120 мм;

- номинальная толщина  $t$  настила не менее 0,65 мм;

- расстояние  $a$  или  $b - a$  (зависящее от направления поворота) между центром метиза и центром поворота прогона не менее 25 мм.

А.2.8 Если учитывают влияние искривления поперечного сечения, то допускается не учитывать  $C_{D,C}$ , так как жесткость связи в основном зависит от значения  $C_{D,A}$  и искривления сечения.



Таблица А.5 - Коэффициент поворота  $C_{100}$  для стального настила с трапециевидными гофрами

Положение настила		Настил закреплен через полку		Шаг креплений		Диаметр шайбы, мм	$C_{100}$ , кНм/м	$b_{T,max}$ , мм
благоприятное	неблагоприятное	нижнюю	верхнюю	в каждой волне $e = b_R$	через волну $e = 2b_R$			
Для нагрузки, направленной вниз								
X		X		X		22	5,2	40
X		X			X	22	3,1	40
	X		X	X		$K_a$	10,0	40
	X		X		X	$K_a$	5,2	40
	X	X		X		22	3,1	120
	X	X			X	22	2,0	120
Для нагрузки, направленной вверх								
X		X		X		16	2,6	40
X		X			X	16	1,7	40
Примечания								
1 В настоящей таблице применены следующие обозначения:								
$b_R$ - ширина волны;								
$b_T$ - ширина полки настила, в месте крепления к прогону.								
X - сочетание условий по положению настила, креплению и шагу крепления.								
2 Значения настоящей таблицы применимы для крепления настила самонарезающими винтами диаметром $\varnothing = 6,3$ мм, стальных шайб толщиной $t_w \geq 1,0$ мм.								

А.2.9 Положение настила по таблице А.5 считается благоприятным, если его узкие полки расположены на прогоне, и неблагоприятным, если на прогоне расположены его широкие полки.

А.2.10 Рекомендуется значение  $C_{D,C}$  с запасом определять по формуле

$$C_{D,C} = \frac{kEI_{ef}}{s}, \quad (A.13)$$

где  $k$  - определяется по таблице А.4.

А.2.11 Момент инерции эффективного сечения  $I_{ef}$  (или  $I_{fic}$ ) может быть принят переменным вдоль пролета. Рекомендуется использовать постоянное значение момента инерции, полученное, исходя из максимального абсолютного момента в пролете от нормативной нагрузки.

А.2.12 Прогобы допускается определять в предположении упругой работы стали.

А.2.13 В расчете прогибов, усилий и моментов следует учитывать влияние податливости соединений (например, в случае неразрезных балочных систем с соединениями внахлестку и на накладках).

А.2.14 Метизы, прикрепляющие настил к прогону, следует проверять на совместное действие срезающего усилия  $q_s e$ , перпендикулярного полке, и растягивающего усилия  $q_t e$ , где  $e$  - шаг креплений,  $q_s$  и  $q_t$  допускается рассчитывать по таблице А.6. Срезающее усилие от настила, действующего как диафрагма, направлено параллельно полке и суммируется с  $q_s$  геометрически.

Таблица А.6 - Срезающее и растягивающее усилия на метиз крепления вдоль балки

Балка	Приложение нагрузки	Срезающее усилие на единицу длины $q_s$	Растягивающее усилие на единицу длины $q_t$
Z-образная	вниз	$(1 + \xi)k_h q$ может быть принято равным 0	0
	вверх	$(1 + \xi)(k_h - a/h)q$	$(\xi k_h q h/a) + q$ ; $a \cong b/2$
С-образная	вниз	$(1 - \xi)k_h q$	$\xi k_h q h/a$
	вверх	$(1 - \xi)(k_h - a/h)q$	$(\xi k_h q h/(b-a)) + q$

А.2.15 Метизы, закрепляющие прогоны на опорах, необходимо проверять на действие реакции  $R_w$  в плоскости стенки и поперечных реакций  $R_1$  и  $R_2$  в плоскостях полок (рисунок А.1). Силы  $R_1$  и  $R_2$  определяют по формулам, приведенным в таблице А.7. Сила  $R_2$  от настила, выполняющего роль диафрагмы жесткости, включает в себя также скатную составляющую для кровель с уклоном. Если  $R_1$  положительна, то растягивающая сила в метизе крепления отсутствует.  $R_2$  передается от настила к верхней полке прогона и далее на стропильную конструкцию (главную балку) через соединительный (опорный) элемент, или с помощью специальных сдвиговых коннекторов, или непосредственно на основной или аналогичный элемент. Реакции на промежуточных опорах неразрезного прогона принимают в 2,2 раза более значений, приведенных в таблице А.7.

Примечание - Для наклонных кровель поперечные нагрузки на прогон рассматриваются как составляющие вертикальной нагрузки, направленные перпендикулярно плоскости кровли и параллельно этой плоскости.

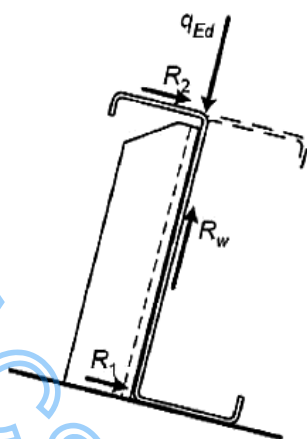


Рисунок А.1 - Реакции на опоре

Таблица А.7 - Реакции на опоре свободно опертой балки

Балка и нагрузка	Реакция на нижний пояс $R_1$	Реакция на верхний пояс $R_2$
Z-образная, нагрузка вниз	$(1 - \zeta)k_R q L/2$	$(1 + \zeta)k_R q L/2$
Z-образная, нагрузка вверх	$-(1 - \zeta)k_R q L/2$	$-(1 + \zeta)k_R q L/2$
C-образная, нагрузка вниз	$-(1 - \zeta)k_R q L/2$	$(1 - \zeta)k_R q L/2$
C-образная, нагрузка вверх	$(1 - \zeta)k_R q L/2$	$-(1 - \zeta)k_R q L/2$

Коэффициент  $\zeta$  принимают равным  $\zeta = \sqrt[3]{k_R}$ , где  $k_R$  - коэффициент, приведенный по формулам А.14 и А.15, и коэффициент  $\xi$  принимают равным  $\xi = \sqrt[3]{\zeta}$ .

А.2.16 Поправочный коэффициент  $k_R$  для рассматриваемой точки и соответствующих граничных условий неразрезной многопролетной балки вычисляют по формулам:

- для второй от крайней промежуточной опоры

$$k_R = \frac{1 + 0,0314R}{1 + 0,396R}; \quad (\text{A.14})$$

- для остальных промежуточных опор

$$k_R = \frac{1 + 0,0178R}{1 + 0,191R}; \quad (\text{A.15})$$

$$\text{где } R = \frac{K I_a^4}{\pi^4 E I_{fz}^2},$$

здесь  $I_{fz}$  - момент инерции полного поперечного сечения свободной полки при изгибе относительно оси  $z - z$ ;

$K$  - погонная боковая жесткость связи по А.2.17;

$l_a$  - расстояние между раскреплениями, а при их отсутствии - пролет  $l$  прогона.

А.2.17 Погонную боковую жесткость связи  $K$  на единицу длины вычисляют по формуле

$$\frac{1}{K} = \frac{4(1-\nu^2)h^2(h_d + b_{mod})}{Et^3} + \frac{h^2}{C_D}, \quad (A.16)$$

где  $t$  - толщина прогона;

$C_D$  - общая жесткость угловой связи по формуле (А.10);

$h$  - общая высота прогона;

$h_d$  - развернутая высота стенки прогона.

$b_{mod}$  определяют:

- для случаев, когда эквивалентная горизонтальная сила  $q_{h,E_d}$  действует на стенку прогона в месте его контакта с настилом,  
 $b_{mod} = a$ ;

- для случаев, когда эквивалентная горизонтальная  $q_{h,E_d}$  сила действует на полку прогона в месте его контакта с настилом,  
 $b_{mod} = 2a + b$ ,

здесь  $a$  - расстояние от метиза крепления настила к прогону до его стенки;

$b$  - ширина полки прогона, соединенной с настилом.

### А.3 Проектирование зданий с учетом диафрагмы жесткости из гофрированного листа

#### А.3.1 Общие положения

А.3.1.1 В настоящем подразделе рассматривается взаимодействие между конструктивными элементами и настилом, работающими совместно как части комбинированной конструкции. Требования настоящего подраздела относятся только к диафрагмам, изготовленным из стали.

А.3.1.2 Диафрагмы могут быть образованы из гофрированного листа, применяемого в покрытии, стеновом ограждении или перекрытиях. Они также могут быть образованы в стенах или перекрытиях из кассетных профилей.

#### А.3.2 Работа диафрагмы

А.3.2.1 В расчете необходимо учитывать, что вследствие своей сдвиговой жесткости и прочности диафрагмы из настила покрытий, перекрытий или обшивки стены увеличивают общую жесткость и прочность каркаса.

А.3.2.2 Покрытия и перекрытия рассматривают как балки-стенки, расположенные по всей длине здания, воспринимающие горизонтальные поперечные нагрузки в своей плоскости и передающие их на торцы или промежуточные связевые рамы. Металлический настил рассматривают как стенку балки, воспринимающую сдвигающие поперечные нагрузки в ее плоскости, а краевые элементы - как пояса балки, воспринимающие осевые растягивающие и сжимающие усилия (см. рисунки А.1 и А.2).

А.3.2.3 Прямоугольные стеновые панели рассматривают упрощенно - как связевые системы, работающие в качестве диафрагмы и воспринимающие усилия в своей плоскости.

#### А.3.3 Условия применения гофрированного листа в качестве диафрагмы жесткости

А.3.3.1 Расчет с учетом работы диафрагмы, являющейся составной частью несущего каркаса, используют только при следующих условиях:

- гофрированный лист кроме обеспечения своей основной функции должен обладать достаточной сдвиговой жесткостью, чтобы препятствовать перемещениям конструкций в плоскости настила;

- диафрагмы должны иметь продольные краевые элементы, воспринимающие усилия в поясах, возникающие при работе диафрагмы;

- усилия от диафрагм покрытий и перекрытий передаются к фундаментам через связевые рамы, другие диафрагмы или другими

методами, препятствующими смещению рам;

- несущая способность соединений должна соответствовать усилиям, передающимся от диафрагмы на основной стальной каркас и объединяющим настил с краевыми элементами для работы в качестве поясов;

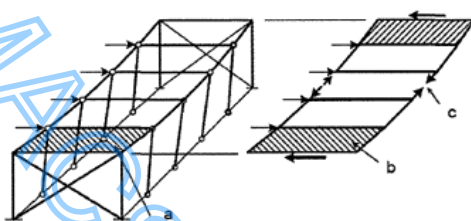
- гофрированный лист рассматривается как неотъемлемая конструктивная часть каркаса, которая не может быть удалена без надлежащей компенсации;

- в проекте, включающем расчеты и чертежи, должно быть обязательно отмечено, что здание запроектировано с учетом работы диафрагмы жесткости;

- для настила, гофры которого ориентированы вдоль покрытия, усилия в поясах, возникающие при работе диафрагмы, могут быть восприняты самим настилом.

- сдвиговая жесткость не зависит от направления действия сдвигающей силы (вдоль или поперек гофров);

- поперечная нагрузка не влияет на сдвиговую жесткость настила.

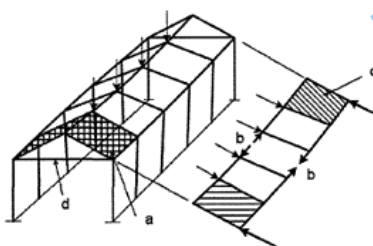


а - настил; b - зона сдвига в настиле; c - усилия в поясах краевых элементов

Рисунок А.2 - Работа диафрагмы в здании с плоским покрытием

А.3.3.2 Расчет с учетом работы вертикальных диафрагм жесткости используется прежде всего для невысоких зданий или для перекрытий и фасадов высоких каркасных зданий.

А.3.3.3 Диафрагмы рекомендуется использовать для восприятия ветровых, снеговых и других нагрузок, передающихся непосредственно через настил. Они также могут использоваться для восприятия небольших подвижных нагрузок, таких как тормозные усилия от легких подвесных кранов или подъемников на монорельсах, но не могут применяться для восприятия длительных внешних нагрузок, таких как нагрузка от оборудования и мостовых кранов.



а - настил; b - усилия в поясах краевых элементов; c - зона сдвига в настиле; d - затяжка, требуемая для восприятия усилий от кровельного покрытия

Рисунок А.3 - Работа диафрагмы в здании с двухскатной кровлей

#### А.3.4 Диафрагмы из стального гофрированного листа

А.3.4.1 В диафрагме из гофрированного листа (рисунок А.3) оба торца листов должны быть закреплены на опорных элементах самонарезающими винтами, дюбелями, сваркой, болтами или другими типами креплений. Соединения должны работать без отказа, не выдергиваться или не срезаться до разрушения настила. Все типы креплений следует устанавливать непосредственно через настил в опорный элемент, например, через гофры гофрированных листов, если не предусмотрены специальные меры по обеспечению эффективной передачи усилий, определяемых расчетом.

А.3.4.2 Балку можно рассматривать как непрерывно раскрепленную от бокового смещения в плоскости настила, если гофрированный лист (с трапецидальными гофрами) соединен со сжатой полкой балки и выполняется следующее условие формулы, то:

$$S \geq \left( EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_t + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25h^2 \right) \frac{70}{h^2}; \quad (\text{A.17})$$

где  $S$  - сдвиговая жесткость (на единицу длины балки), обеспеченная креплением гофрированного листа к балке в каждой волне, при деформации балки в плоскости настила;

$I_z$  - момент инерции поперечного сечения относительно второстепенной оси поперечного сечения (из плоскости балки);

$L$  - длина балки;

$h$  - высота балки.

Если гофрированный лист прикреплен к балке через волну, сдвиговую жесткость следует принимать равной  $0,2 S$ .

Примечание - Формулу (А.17) допускается также использовать при определении поперечной устойчивости полок балки, соединенных с другими типами настила, а не только с трапецидальным профилированным настилом, при условии, что их соединения обоснованы соответствующим расчетом.

А.3.4.3 Продольные стыки между соседними листами следует выполнять на заклепках, самонарезающих винтах, точечной сварке или на других видах креплений, которые работают без отказа, не выдергиваются или не срезаются до разрушения настила. Шаг таких креплений не должен превышать 500 мм.

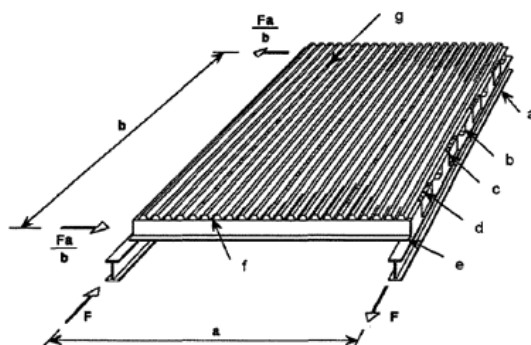
А.3.4.4 Расстояния от креплений всех типов до краев и торцов листов должны быть достаточными для предотвращения преждевременного прорыва кромки настила.

А.3.4.5 Допускаются без специального расчета небольшие произвольно расположенные отверстия, расположенные с суммарной площадью не более 3% перекрываемой площади при условии, что общее расчетное количество креплений сохраняется. Отверстия, занимающие площадь до 15% перекрываемой площади (площади поверхности диафрагмы, учитываемой в расчете), размещают согласно детальным расчетам. Участки с большими проемами должны быть разделены на меньшие участки, каждый из которых работает как диафрагма.

А.3.4.6 Несущую способность диафрагмы на сдвиг определяют минимальным значением предельной прочности продольных стыков или креплений настила на опорах, параллельных гофрам, или для диафрагм, закрепленных только на продольных краевых элементах, креплений листов на торцах (рисунок А.4). Расчетная несущая способность диафрагмы на сдвиг должна превышать этот минимум не менее чем на:

- на 40% - при разрушении креплений листов к прогонам от совместного действия сдвига и ветрового отсоса;

- 25% - при любой другой форме разрушения.



a - балка; b - прогон; c - связь сдвига; d - крепление настила к связи сдвига; e - прогон; f - крепление настила к прогону; g - крепление листов настила между собой

Рисунок А.4 - Конструкция отдельной панели

А.3.4.7 Гофрированные листы, которые образуют диафрагмы, должны быть предварительно рассчитаны на изгиб. Чтобы исключить снижение несущей способности настила на изгиб при его одновременной работе как диафрагмы, следует учитывать, что напряжения в настиле при работе его в качестве диафрагмы жесткости не должны превышать  $0,25 R_{ym} / \gamma_m$ .

### А.3.5 Диафрагмы из кассетных профилей

А.3.5.1 Кассетные профили, используемые для образования диафрагм, должны иметь широкие полки повышенной жесткости.

А.3.5.2 Кассетные профили в диафрагмах следует соединять между собой по продольным краям через стенки метизами (обычно с помощью заклепок) с шагом креплений  $e_s \leq 300$  мм, расположенных на расстоянии  $e_u \leq 30$  мм от широкой полки (рисунок А.5).

А.3.5.3 Для точной оценки деформации (перекосов), обусловленных метизами, допускается использовать методику, аналогичную принятой для профилированных настилов с трапецевидными гофрами.

А.3.5.4 Сдвигающая сила  $T_v$  от расчетных нагрузок в предельной стадии не должна превышать  $T_{v,R}$ , вычисляемое по формуле

$$T_{v,R} = 8,43 E^4 \sqrt{I_a (t/b_u)^9}, \quad (\text{A.18})$$

где  $I_a$  - момент инерции широкой полки относительно собственной оси;

$b_u$  - общая ширина широкой полки.

А.3.5.5 Сдвигающая сила  $T_v$  от нормативных нагрузок не должна превышать  $T_{v,C}$ , вычисляемое по формуле

$$T_{v,C} = S_v / 375, \quad (\text{A.19})$$

где  $S_v$  - сдвиговая жесткость диафрагмы на единицу длины, вычисляемая по формуле

$$S_v = \frac{\alpha_x L b_p}{e_s (b - b_p)}, \quad (\text{A.20})$$

где  $L$  - общая длина диафрагмы (в направлении пролета кассетных профилей);

$b$  - общая ширина диафрагмы ( $b = \sum b_p$ );

$b_p$  - ширина профиля;

$\alpha_x$  - коэффициент жесткости  $\alpha_x = 0,8$ ;

$e_s$  - расстояние между метизами (рисунок А.5).

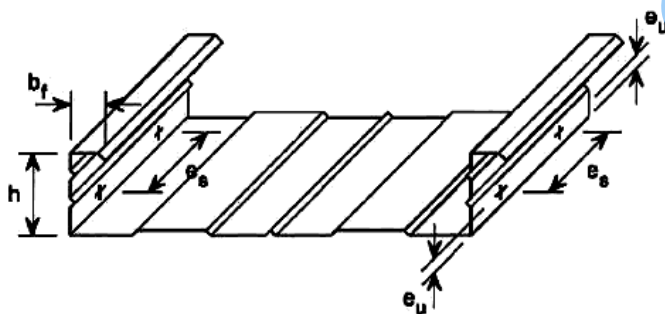


Рисунок А.5 - Расположение метизов в продольном стыке

Приложение Б  
(обязательное)

## Определение эффективной ширины сжатых элементов жесткости

### Б.1 Порядок определения эффективной ширины сжатых полок с краевыми отгибами

Б.1.1 Расчет одинарного краевого отгиба, укрепляющего полку профиля, следует вести поэтапно. На рисунке Б.1 представлено полное сечение брутто сжатой полки с теоретической шириной  $b_p$  и теоретической шириной одинарного краевого отгиба  $b_{p,c}$ .

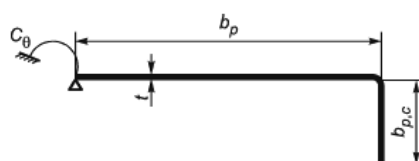


Рисунок Б.1 - Сечение сжатой полки с краевыми условиями

### Б.1.2 Первый этап

Определяют основные параметры начального эффективного поперечного сечения полки с краевым элементом жесткости (см. рисунок Б.2).

Для сжатой полки  $b_p$  определяют устойчивые участки  $b_{e1}$  и  $b_{e2}$  в соответствии с таблицей 7.2 и 7.3.1.7 в зависимости от коэффициента  $\rho$ , определяемого по формулам (7.12), (7.13) или (7.19), как для пластины, опирающейся по двум сторонам. Предполагается при этом, что элемент жестко подкрепляет пластину ( $K = \infty$ ), а уровень нормальных сжимающих напряжений в полке равен:

- при определении редукиции основным методом (по формулам (7.12)-(7.13)) в формулах таблицы 7.2 принимают  $\sigma_1 = R_y$ ;
- при определении редукиции в сечении альтернативным методом (по формуле (7.19)) в формулах таблицы 7.2  $\sigma_1$  принимают равным максимальному напряжению сжатия в пластине, соответствующему определенной итерации.

Далее рассчитывают значение  $c_{ef}$  одинарного краевого отгиба полки по формуле (7.23).

При определении редукиционного коэффициента  $\rho$  краевого отгиба полки (пластинки шириной  $b_{p,c}$ ) по формулам (7.14), (7.15) или (7.20) значение коэффициента напряженного состояния  $k_{\sigma}$  определяют по формулам:

$$k_{\sigma} = 0,5, \quad \text{если } b_{p,c} / b_p \leq 0,35;$$

$$k_{\sigma} = 0,5 + 0,83 \cdot 3 \sqrt{\left(\frac{b_{p,c}}{b_p} - 0,35\right)^2}, \quad \text{если } 0,35 < b_{p,c} / b_p \leq 0,60.$$

Затем определяют площадь  $A_s$  и момент инерции  $I_s$  (относительно оси а-а) начального расчетного сечения элемента жесткости (см. рисунки 7.8 и Б.2).

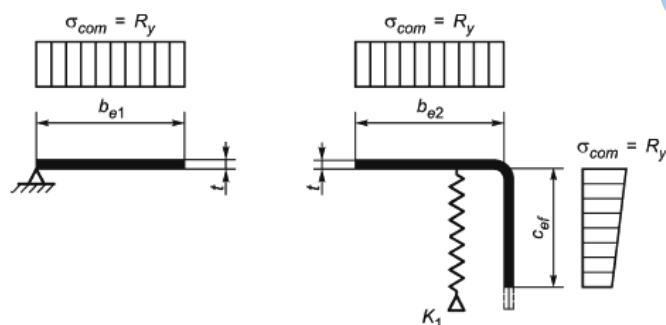


Рисунок Б.2 - Первый этап. Начальное эффективное поперечное сечение сжатой полки с краевым элементом жесткости при  $K = \infty$  и нормальных напряжениях  $\sigma_{com} = R_y$

### Б.1.3 Второй этап

Определяют критическое напряжение потери устойчивости начального расчетного сечения краевого элемента жесткости, включающего участки  $b_{e2}$  и  $c_{ef}$  с полной толщиной  $t$ , в предположении, что краевой отгиб теряет общую устойчивость как центрально сжатый стержень (см. рисунок Б.3).

Критическое напряжение упругой потери устойчивости определяют по формуле (7.28):

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2 \cdot \sqrt{K_1 E I_s}}{A_s},$$

где  $K_1$  - жесткость упругоподатливой связи;

$I_s$  - момент инерции начального расчетного сечения краевого элемента жесткости относительно оси  $a$ - $a$ ;

$A_s$  - площадь начального расчетного сечения краевого элемента жесткости из первого этапа (см. рисунки 7.8 и Б.2).

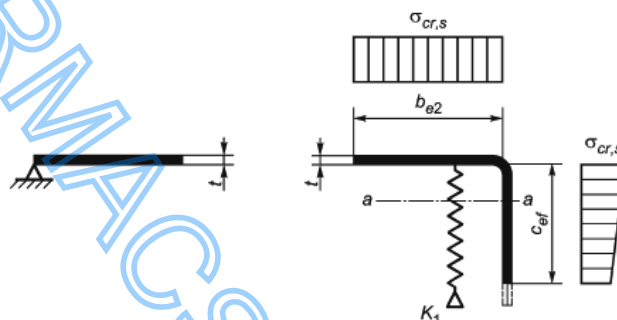


Рисунок Б.3 - Второй этап. Критические напряжения потери устойчивости  $\sigma_{cr,s}$  краевого элемента жесткости, полученного на первом этапе

Далее определяют коэффициент  $\chi_d$  снижения несущей способности (см. рисунок Б.4) вследствие потери устойчивости формы сечения (плоская форма потери устойчивости краевого элемента жесткости) с учетом условной гибкости  $\bar{\lambda}_d$  по 7.3.2.9 и формулам (7.31)-(7.33).

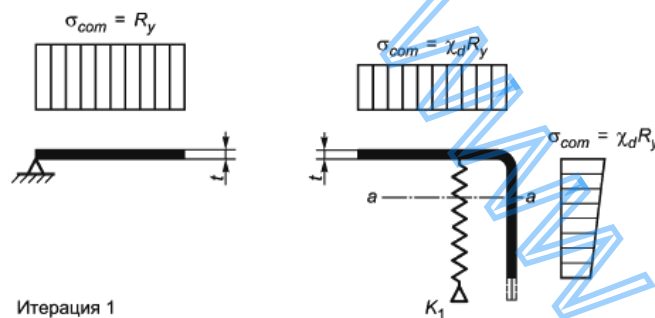


Рисунок Б.4 - Второй этап. Сниженная прочность  $\chi_d R_y$  для начального расчетного сечения элемента жесткости с площадью  $A_s$

### Б.1.4 Третий этап

Третий этап не обязателен и предполагает итерационное уточнение значения  $\chi_d$ , при котором напряжение в элементе жесткости принимают равным  $\chi_d R_y$  и при измененных значениях  $\rho$ .

Итерацию начинают с модифицированных значений  $\rho$ , полученных согласно 7.3.1.7, но вместо  $\bar{\lambda}_p$  принимают  $\bar{\lambda}_{p,red}$ , которую определяют по формуле

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi_d}. \quad (\text{Б.1})$$

В формуле (Б.1) значение  $\bar{\lambda}_p$  принимают из первой итерации, а значение  $\chi_d$  - из предыдущей итерации. При этом размеры устойчивых участков сжатых пластин, примыкающих к элементу жесткости ( $b_{e2}$  и  $c_{ef}$ ), в каждой итерации уточняют исходя из полных



значений  $b_p$  и  $c$ , а толщина не меняется и принимается равной  $t$  (см. рисунок Б.5).

Итерации проводят до тех пор, пока не станут выполняться следующие условия:  $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$  но  $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$ .

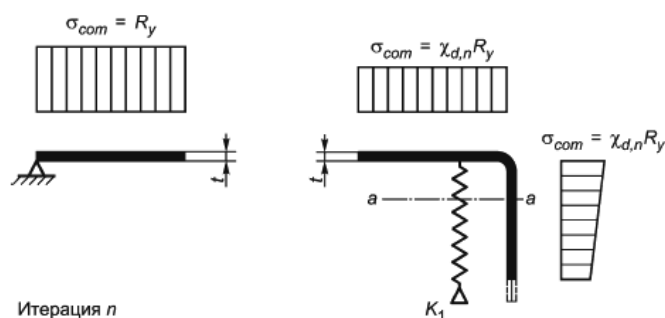


Рисунок Б.5 - Третий этап. Сниженная прочность  $\chi_{d,n} R_y$  для уточненного расчетного сечения элемента жесткости с площадью  $A_{s,n}$  в итерации n

#### Б.1.5 Четвертый этап

Определяют эффективную площадь элемента жесткости.

Эффективную площадь краевого элемента жесткости (см. рисунок Б.6) вычисляют по 7.3.2.10 и формуле (7.34).

При определении геометрических характеристик эффективного поперечного сечения эффективную площадь  $A_{s,red}$  определяют с учетом уменьшенной толщины  $t_{red}$  для всех элементов, включенных в  $A_s$ . Значение  $t_{red}$  вычисляют по 7.3.2.11 и формулам (7.34а)-(7.34в).

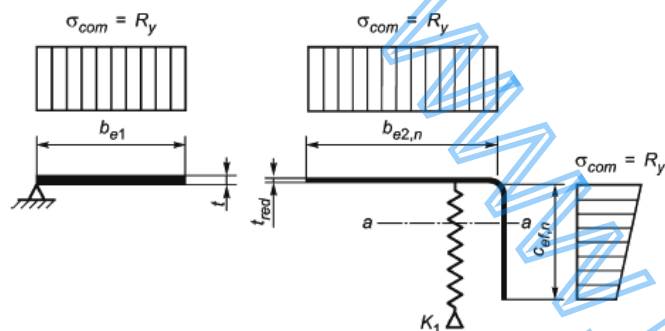


Рисунок Б.6 - Четвертый этап. Окончательное эффективное поперечное сечение сжатой полки с краевым элементом жесткости

#### Б.2 Порядок определения эффективной ширины сжатых пластин с промежуточными элементами жесткости

Б.2.1 Расчет промежуточного элемента жесткости, подкрепляющего сжатую пластину, следует вести поэтапно.

##### Б.2.2 Первый этап

Определяют начальное эффективное поперечное сечение пластины с промежуточным элементом жесткости (см. рисунок Б.7). В соответствии с таблицей 7.2 и 7.3.1.7 определяют значения  $b_{1,e1}$ ,  $b_{1,e2}$  и  $b_{2,e1}$ ,  $b_{2,e2}$  в зависимости от коэффициента  $\rho$ , определяемого по формулам (7.12), (7.13) или (7.19). Предполагают при этом, что элемент жестко подкрепляет пластину ( $K = \infty$ ), а уровень нормальных сжимающих напряжений в пластине равен:

- при определении редукции основным методом (по формулам (7.12), (7.13)) в формулах таблицы 7.2 принимают  $\sigma_1 = R_y$ ;

- при определении редукции в сечении альтернативным методом (по формуле (7.19)) в формулах таблицы 7.2  $\sigma_1$  принимают равным максимальному напряжению сжатия в пластинке, соответствующему определенной итерации.

Далее определяют площадь  $A_s$  и момент инерции  $I_s$  (относительно оси  $a$ - $a$ ) начального расчетного сечения промежуточного элемента жесткости (см. рисунки 7.9 и Б.7).

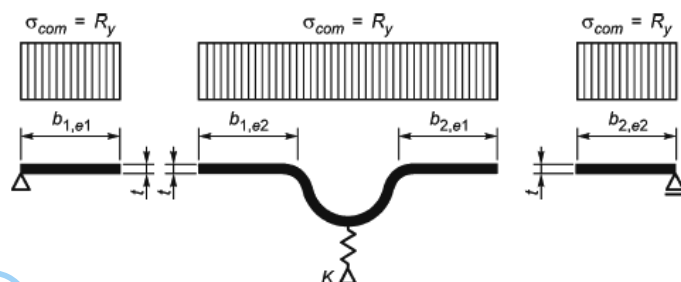


Рисунок Б.7 - Первый этап. Начальное эффективное поперечное сечение сжатой пластины с промежуточным элементом жесткости при  $K = \infty$  и нормальных напряжениях  $\sigma_{com} = R_y$

### Б.2.3 Второй этап

Определяют критическое напряжение потери устойчивости начального расчетного сечения промежуточного элемента жесткости, включающего участки  $b_{1,e2}$ ,  $b_{2,e1}$  и  $b_s$  с полной толщиной  $t$  (см. рисунок Б.8), в предположении, что элемент жесткости теряет общую устойчивость как центрально сжатый стержень.

Критическое напряжение упругой потери устойчивости определяют по 7.3.3.5 и формуле (7.36).

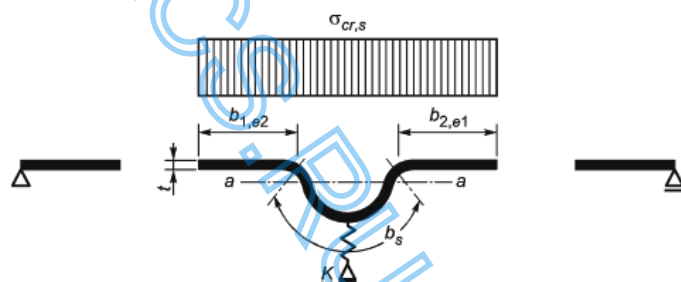


Рисунок Б.8 - Второй этап. Критические напряжения потери устойчивости  $\sigma_{cr,s}$  промежуточного элемента жесткости, полученного на первом этапе

Далее определяют коэффициент  $\chi_d$  снижения несущей способности (см. рисунок Б.9) вследствие потери устойчивости формы сечения (плоская форма потери устойчивости промежуточного элемента жесткости) с учетом условной гибкости  $\bar{\lambda}_d$  по 7.3.2.9 и формулам (7.31)-(7.33).

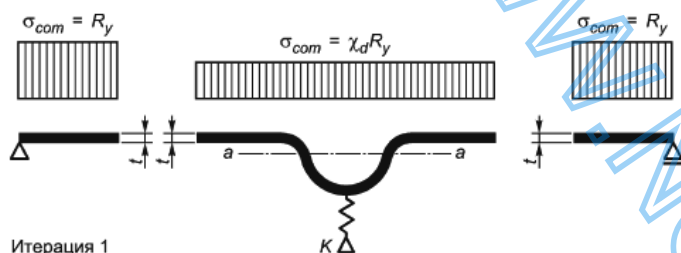


Рисунок Б.9 - Второй этап. Сниженная прочность  $\chi_d R_y$  для начального расчетного сечения элемента жесткости площадью  $A_s$

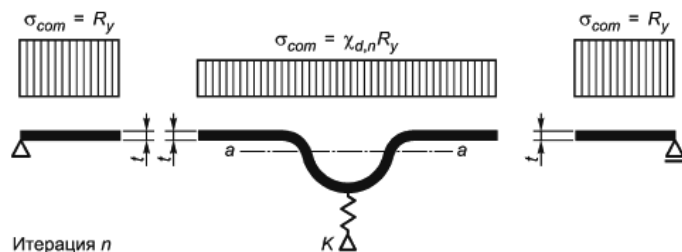
### Б.2.4 Третий этап

Третий этап не обязателен и предполагает итерационное уточнение значения  $\chi_d$ , при котором напряжение в элементе жесткости принимают равным  $\chi_d R_y$  и при измененных значениях  $\rho$ .

Итерацию начинают с модифицированных значений  $\rho$ , полученных согласно 7.3.1.7, но вместо  $\bar{\lambda}_p$  принимают  $\bar{\lambda}_{p,red}$ , которую определяют по формуле (Б.1).

В формуле (Б.1) значение  $\bar{\lambda}_p$  принимают из первой итерации, а значение  $\chi_d$  - из предыдущей итерации. При этом размеры устойчивых участков сжатых пластин, примыкающих к элементу жесткости ( $b_{1,e2}$  и  $b_{2,e1}$ ), в каждой итерации уточняют исходя из полных значений  $b_{p1}$  и  $b_{p2}$ , а толщина не меняется и принимается равной  $t$  (см. рисунок Б.10).

Итерации проводят до тех пор, пока не станут выполняться следующие условия:  $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$ , но  $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$



Итерация n

Рисунок Б.10 - Третий этап. Сниженная прочность  $\chi_{d,n} R_y$  для уточненного расчетного сечения элемента жесткости с площадью  $A_{s,n}$  в итерации n

### Б.2.5 Четвертый этап

Определяют эффективную площадь элемента жесткости.

Эффективную площадь промежуточного элемента жесткости (см. рисунок Б.11) вычисляют по 7.3.2.10 и формуле (7.34).

При определении геометрических характеристик эффективного поперечного сечения эффективную площадь  $A_{s,red}$  определяют с учетом уменьшенной толщины  $t_{red}$  для всех элементов, включенных в  $A_s$ . Значение  $t_{red}$  вычисляют по 7.3.2.11 и формулам (7.34а)-(7.34в).

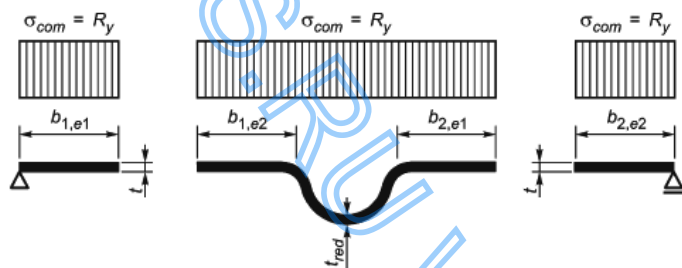


Рисунок Б.11 - Четвертый этап. Окончательное эффективное поперечное сечение сжатой пластины с промежуточным элементом жесткости

Приложение Б (Измененная редакция, Изм. N 2).

Приложение В  
(справочное)

## Коэффициенты взаимодействия $k_{ij}$ , учитывающие совместное действие усилий

### В.1 Метод 1

Таблица В.1 - Коэффициенты взаимодействия  $k_{ij}$

Коэффициенты взаимодействия	Упругие свойства поперечного сечения, класс 4	Вспомогательные обозначения:
$k_{xx}$	$C_{m,x} C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_x}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}}$	$\mu_x = \frac{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}}{1 - \varphi_x \frac{N}{N_{cr,x}}}$

$k_{xy}$	$C_{m,y} \cdot \frac{\mu_x}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}}$	$\mu_y = \frac{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}}{1 - \varphi_y \frac{N}{N_{cr,y}}}$
$k_{yx}$	$C_{m,x} C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}}$	$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_{g,x}}$
$k_{yy}$	$C_{m,y} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}}$	$C_{m,x} = C_{m,x,0} + (1 - C_{m,x,0}) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_x} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_x} a_{LT}}$ $C_{m,y} = C_{m,y,0}$ $C_{m,LT} = C_{m,x}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N}{N_{cr,T}}\right)}} \geq 1$ $\varepsilon_x = \frac{M_x}{N} \cdot \frac{A_{ef}}{W_{ef,x}}$

где  $N_{cr,x}$  - критическая сила плоской формы потери устойчивости по Эйлеру относительно оси x-x в упругой стадии для полного сечения;

$N_{cr,y}$  - критическая сила плоской формы потери устойчивости по Эйлеру относительно оси y-y в упругой стадии для полного сечения;

$N_{cr,T}$  - критическая сила для крутильной формы потери устойчивости в упругой стадии;

$I_t$  - момент инерции полного поперечного сечения при свободном кручении;

$I_{g,x}$  - момент инерции относительно оси x-x

Таблица В.2 - Коэффициент  $C_{m,i,0}$  перехода к эквивалентной прямоугольной эпюре моментов в таблице В.1

Эпюра моментов	$C_{m,i,0}$
	$C_{m,i,0} = 0,79 + 0,21\psi_i + 0,36(\psi_i - 0,33) \frac{N}{N_{cr,i}}$
	$C_{m,i,0} = 1 + \left( \frac{\pi^2 EI_i  f_z }{l^2  M_i(z) } - 1 \right) \frac{N}{N_{cr,i}}$ <p>где <math>M_i(z)</math> - максимальный момент <math>M_x</math> или <math>M_y</math>;</p> <p><math> f_z </math> - максимальный прогиб элемента по его длине</p>
	$C_{m,i,0} = 1 - 0,18 \cdot \frac{N}{N_{cr,i}}$
	$C_{m,i,0} = 1 - 0,03 \cdot \frac{N}{N_{cr,i}}$

**В.2 Метод 2**

Таблица В.3 - Коэффициенты взаимодействия  $k_{ij}$  для сечений, не чувствительных к деформациям кручения

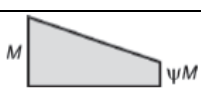
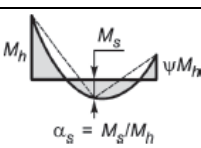
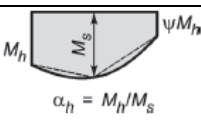
Коэффициенты взаимодействия	Тип сечения	Упругие свойства поперечного сечения, классы 3 и 4
$k_{xx}$	Двутавры прямоугольные замкнутые	$C_{m,x} \cdot \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_x \cdot \frac{N}{\varphi_x A_{ef} R_y} \right) \leq C_{m,x} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N}{\varphi_x A_{ef} R_y} \right)$
$k_{xy}$		$k_{xx}$

$k_{yx}$	$0,8k_{xx}$
$k_{yy}$	$C_{m,y} \cdot \left( 1 + 0,6\bar{\lambda}_y \cdot \frac{N}{\varphi_y A_{ef} R_y} \right) \leq C_{m,y} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N}{\varphi_y A_{ef} R_y} \right)$

Таблица В.4 - Коэффициенты взаимодействия  $k_{ij}$  для сечений, чувствительных к деформациям кручения

Коэффициенты взаимодействия	Упругие свойства поперечного сечения, классы 3 и 4
$k_{xx}$	$k_{xx}$ из таблицы В.3
$k_{xy}$	$k_{xy}$ из таблицы В.3
$k_{yx}$	$\left[ 1 - \frac{0,05\bar{\lambda}_y}{(C_{m,LT} - 0,25)} \cdot \frac{N}{\varphi_y A_{ef} R_y} \right] \geq \left[ 1 - \frac{0,05}{(C_{m,LT} - 0,25)} \cdot \frac{N}{\varphi_y A_{ef} R_y} \right]$
$k_{yy}$	$k_{yy}$ из таблицы В.3

Таблица В.5 - Коэффициенты  $C_m$  перехода к эквивалентной прямоугольной эпюре моментов в таблицах В.3 и В.4

Эпюра моментов	Границы		$C_{m,x}$ , $C_{m,y}$ и $C_{m,LT}$	
			Распределенная нагрузка	Сосредоточенная нагрузка
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1 \cdot (1 - \alpha_s) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\alpha_s) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h \cdot (1 + 2\psi)$	$0,90 - 0,10\alpha_h \cdot (1 + 2\psi)$

## Примечания

- Для элементов, подверженных потере устойчивости, коэффициенты  $C_m$  следует принимать соответственно  $C_{m,x} = 0,9$  или  $C_{m,y} = 0,9$ .
- $C_{m,x}$ ,  $C_{m,y}$  и  $C_{m,LT}$  следует определять в соответствии с эпюрой изгибающего момента между соответствующими точками раскрепления следующим образом:

коэффициент $C_m$	изгиб относительно оси		направление раскрепления
	$x-x$	$y-y$	
$C_{m,x}$	$x-x$	$y-y$	$y-y$
$C_{m,y}$	$y-y$	$x-x$	$x-x$
$C_{m,LT}$	$x-x$	$x-x$	$x-x$

Таблица В.6 - Максимальные значения коэффициентов взаимодействия

Коэффициент взаимодействия	Класс сечения 4
$k_{xx}$	$1,6 C_{mx}$
$k_{xy}$	$1,6 C_{my}$
$k_{yx}$	1,0
$k_{yy}$	$1,6 C_{my}$

Приложение В (Измененная редакция, Изм. N 2).

Приложение Г

(справочное)

**Определение критического момента потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии**

Для сечений, у которых плоскость действия момента совпадает с плоскостью симметрии, критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии, в зависимости от расчетной схемы и схемы действия нагрузок, в общем виде вычисляются по формуле

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_{g,y}}{(k_y L)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{k_y}{k_w} \right)^2 \frac{I_\omega}{I_{g,y}} + \frac{(k_y L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_{g,y}} + (C_2 y_g - C_3 y_j)^2 \right]^{-0,5} - (C_2 y_g - C_3 y_j) \right\}, \quad (\Gamma.1)$$

где  $I_t$  - момент инерции при свободном кручении полного сечения;

$I_\omega$  - секториальный момент инерции полного сечения;

$I_{g,y}$  - момент инерции полного сечения из плоскости действия изгибающего момента;

$L$  - нераскрепленная длина балки;

$C_1, C_2, C_3$  - коэффициенты, зависящие от формы приложения нагрузки и условий закреплений балок на шарнирных опорах, представленные в таблицах Г.1 и Г.2, другие варианты закреплений могут быть представлены с помощью коэффициентов  $k_y$  и  $k_w$ ;

$k_y, k_w$  - коэффициенты расчетной длины, зависящие от условий закрепления торцевых сечений;  $k_y$  зависит от поворота торцевых сечений относительно более слабой оси  $u-u$ , а коэффициент  $k_w$  характеризует ограничение деформаций сечения. Коэффициенты устанавливаются в пределах от 0,5 при ограниченных деформациях до 1,0 при свободных деформациях. В случае свободных деформаций на одном конце балки и ограниченных на другом значения коэффициентов принимают равным 0,7. Допускается принимать значения  $k_y = k_w = 1,0$ ;

$y_g = (y_a - y_s) - y_a$  и  $y_s$  являются  $u$  координатами точки приложения нагрузки и центра кручения. Координаты положительны, если находятся в сжатой части сечения, и отрицательны в растянутой;

$y_j$  - параметр, отражающий степень асимметрии поперечного сечения относительно оси  $x-x$ , равный нулю для сечений балок, симметричных относительно обеих осей. Параметр положителен, если при изгибе напряжения в поясе с наибольшим моментом инерции относительно оси  $u-u$  являются сжимающими:

$$y_j = 0,8 \psi_f \frac{h_c}{2}, \text{ если } \psi_f \geq 0; \quad (\Gamma.2)$$

$$y_j = \psi_f \frac{h_c}{2}, \text{ если } \psi_f < 0, \quad (\Gamma.3)$$

где 
$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}}, \quad (\Gamma.4)$$

здесь  $I_{fc}$  - момент инерции относительно оси  $u-u$  сжатого пояса условного эквивалентного двутавра при изгибе относительно оси  $x-x$  (см. рисунок Г.1);

$I_{ft}$  - момент инерции относительно оси  $u-u$  растянутого пояса условного эквивалентного двутавра при изгибе относительно оси  $x-x$  (см. рисунок Г.1);

$h_c$  - расстояние между центрами тяжести поясов условного эквивалентного двутавра (см. рисунок Г.1);

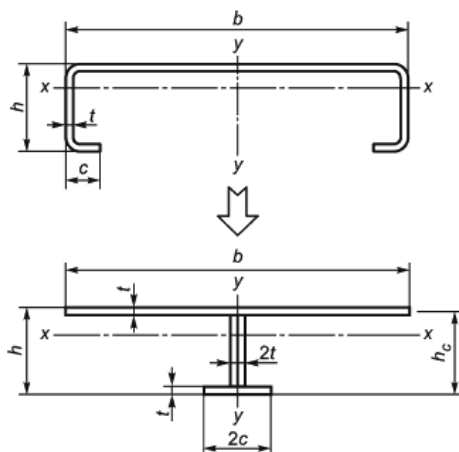
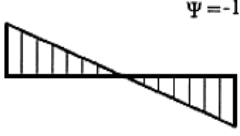


Рисунок Г.1 - Условное представление сечения с одной осью симметрии в виде двутавра для определения параметра  $\psi_f$

(Измененная редакция, Изм. N 2).

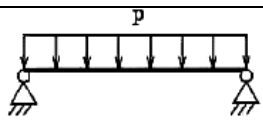
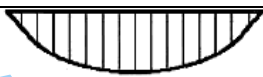
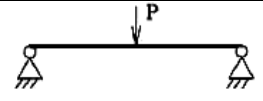

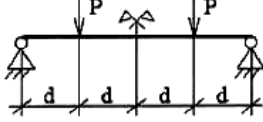

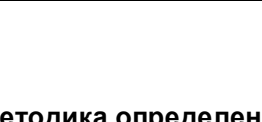

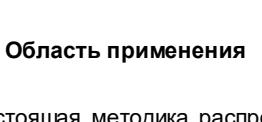

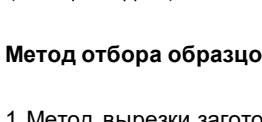

Таблица Г.1 - Коэффициенты  $C_1$  и  $C_3$  для балок с моментами на опорах

Нагрузки и граничные условия	Эпюры моментов	$k_y$	$C_1$	$C_3$	
				$\psi_f \leq 0$	$\psi_f > 0$
	 $\psi = +1$	1,0	1,00	1,000	
	 $\psi = +3/4$	0,5	1,05	1,019	
	 $\psi = +3/4$	1,0	1,14	1,000	
	 $\psi = +1/2$	0,5	1,19	1,017	
	 $\psi = +1/2$	1,0	1,31	1,000	
	 $\psi = +1/4$	0,5	1,37	1,000	
	 $\psi = +1/4$	1,0	1,52	1,000	
	 $\psi = 0$	0,5	1,60	1,000	
	 $\psi = 0$	1,0	1,77	1,000	
	 $\psi = -1/4$	0,5	1,86	1,000	
	 $\psi = -1/4$	1,0	2,06	1,000	0,850
	 $\psi = -1/2$	0,5	2,15	1,000	0,650
	 $\psi = -1/2$	1,0	2,35	1,000	1,3-1,2 $\psi_f$
	 $\psi = -3/4$	0,5	2,42	0,950	0,77 $\psi_f$
	 $\psi = -3/4$	1,0	2,60	1,000	0,55 $\psi_f$
			0,5	2,45	0,850
		1,0	2,60	$-\psi_f$	$-\psi_f$

	$\Psi = -1$	0,5	2,45	$0,125-0,7 \Psi_f$	$0,125-0,7 \Psi_f$
Примечание - Для балок с моментами на опорах $C_2 y_g = 0$ ; $\Psi_f = \frac{I_{f,c} - I_{f,p}}{I_{f,c} + I_{f,p}}$ , где $I_{f,c}$ и $I_{f,p}$ - моменты инерции сжатых и растянутых полок относительно слабой оси $y-y$ . Когда $\frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_T}} \leq 1,0$ , $C_1$ должен быть разделен на 1,05, но быть не менее 1,0.					

(Измененная редакция, Изм. N 2).

Таблица Г.2 - Коэффициенты  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  для балок с изгибающей нагрузкой

Нагрузки и граничные условия	Эпюры моментов	$k_y$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
		1,0	1,127	0,454	0,525
		0,5	0,970	0,360	0,438
		1,0	1,348	0,630	0,411
		0,5	1,050	0,480	0,338
		1,0	1,040	0,420	0,562
		0,5	0,950	0,310	0,539

#### Приложение Д

### Методика определения ударной вязкости тонколистовых элементов толщиной до 4,5 мм при отрицательных температурах

#### Д.1 Область применения

Настоящая методика распространяется на испытания тонколистового проката, в том числе на оцинкованный холодногнутый профиль, толщиной до 4,5 мм.

#### Д.2 Метод отбора образцов

Д.2.1 Метод вырезки заготовок для изготовления образцов, ориентация оси концентратора, технология вырезки заготовок и изготовления образцов - в соответствии с требованиями [ГОСТ 9454](#).

Д.2.2 При вырезке заготовок образцов необходимо избегать наклепа и нагрева, изменяющих свойства металла, если не предусмотрено иное в нормативно-технической документации на продукцию.

Д.2.3 Допускается использовать образцы с необработанными поверхностями, размеры которых соответствуют требованиям образцов типа 4 или 14 по [ГОСТ 9454](#).

Д.2.4 Листы профиля толщиной 3-4,5 мм допускается испытывать на ударную вязкость в виде отдельных пластин с концентратором.

Д.2.5 Из образцов толщиной до 2,5 мм изготавливают пакет толщиной не менее 3 мм. При изготовлении пакетного образца следует использовать один и тот же профиль с одинаковой толщиной (то есть из одной партии профиля).

#### Д.3 Конструктивные особенности изготовления пакетного образца



Д.3.1 Плоские заготовки размером 55x8 мм собирают в пакет общей толщиной не менее 3 мм.

Д.3.2 Пакетный образец с помощью струбцин закрепляют от взаимного смещения плоских заготовок.

Д.3.3 На расстоянии  $17,5 \pm 0,1$  мм от оси надреза размечают два отверстия.

Д.3.4 Сверление пакетного образца производят сверлом диаметром 2,2 мм. Плоские заготовки в пакете стягивают винтами диаметром 2,0 мм.

Д.3.5 На пакетном образце со стороны, противоположной движению ударного механизма копра, наносят V- или U-образный надрез. Требования к геометрии и точности изготовления надреза - в соответствии с [ГОСТ 9454](#).

Д.3.6 Поверхность торца пакетного образца подвергают механической зачистке заподлицо со стороны удара молота для сохранения его устойчивости при испытании.

#### Д.4 Аппаратура и материалы

Д.4.1 Испытания на ударный изгиб пакетного образца проводят с помощью копра с номинальной потенциальной энергией маятника 300 Дж (30,0 кг·м).

Д.4.2 Конструктивные особенности копра принимают по [ГОСТ 9454](#). Допускается применять способы охлаждения образцов и термометры, рекомендуемые [ГОСТ 9454](#).

Д.4.3 Для визуального наблюдения поверхностей изломов пакетных образцов рекомендуется использовать оптические приборы с увеличением от 10-кратного до 40-кратного (см. пункт 6.10.2).

Д.4.4 Измерение рабочего сечения пакетного образца проводят штангенциркулем по [ГОСТ 166](#).

#### Д.5 Подготовка к испытанию и проведение испытаний

Д.5.1 Подготовку и проведение испытаний следует проводить в соответствии с [ГОСТ 9454](#).

Д.5.2 Суммарную работу удара пакетного образца определяют по шкале маятникового копра.

#### Д.6 Обработка результатов испытаний

Д.6.1 Испытания признают успешными, если произошло разделение пакетного образца на две части. За результат испытания принимают работу удара.

Д.6.2 За результат испытания одного слоя (плоской заготовки) пакетного образца принимают частное от деления работы удара разрушения пакетного образца на количество слоев в пакете при условии, что все слои (плоские заготовки) разрушились по одному механизму: вязкому или хрупкому.

Д.6.3 При появлении в пакетном образце слоев с различным механизмом разрушения следует принять, что вклад слоя с хрупким кристаллическим строением излома равен нулю. Ударная вязкость остальных слоев устанавливается в соответствии с указаниями Д.6.2.

Д.6.4 При появлении в пакетном образце смешанного механизма разрушения (хрупкий + вязкий, то есть ямочный и/или пластический сдвиг), следует изменением температуры испытания (с шагом от 10°C до 20°C) найти условие по виду излома для однозначной трактовки механизма разрушения - вязкий или хрупкий.

Д.6.5 За критическую температуру хрупкости тонколистовых сталей толщиной до 4,5 мм принимается температура, при которой ударная вязкость достигает нормативного (критерияльного) значения.

Д.6.6 За критическую температуру хрупкости стальных тонкостенных холодногнутых профилей марок 220-250 и 280-350 по [ГОСТ Р 52246](#) принимается температура, при которой ударная вязкость стали составляет 34 Дж/см<sup>2</sup>.

Д.6.7 За критическую температуру хрупкости для профилей толщиной 2,5 мм и менее, испытанных на образцах Шарпи (тип 14 по [ГОСТ 9454](#)), принимается нормативное значение ударной вязкости 24 Дж/см<sup>2</sup> при условии, что доля вязкой составляющей излома - не менее 85%.

Д.6.8 Допускается устанавливать нормативное значение ударной вязкости по результатам контрольных испытаний с участием специализированной организации.

Д.6.9 Результаты измерений вносятся в протокол испытаний.

Приложение Д (Введено дополнительно, Изм. N 1).

## Библиография

- [1] [Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений"](#)
- [2] [Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"](#)

---

УДК 69+624.014.2.04(083.74)

77.140.70

ОКС 91.080.10

Ключевые слова: стальные тонкостенные конструкции из холодногнутого оцинкованных профилей и гофрированных листов; требования по обеспечению надежности, механической безопасности, долговечности, коррозионной стойкости, пожарной безопасности и огнестойкости; расчет конструкций по предельным состояниям; материалы для конструкций и соединений; расчет конструктивных систем зданий и сооружений на прочность и устойчивость

---