

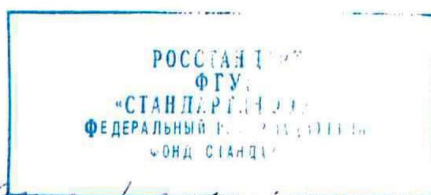
МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА  
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ

СП <sup>294</sup> 1325800.2017

## КОНСТРУКЦИИ СТАЛЬНЫЕ ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Издание официальное



*Дата регистрации 07 августа 2017г.*

Москва 2017

В НАБОР

## Введение

Настоящий свод правил составлен с целью повышения уровня безопасности людей в зданиях и сооружениях и сохранности материальных ценностей в соответствии с Федеральным законом от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», повышения уровня гармонизации нормативных требований с европейскими и международными нормативными документами, применения единых методов определения эксплуатационных характеристик и методов оценки.

Настоящий свод правил разработан АО «НИЦ «Строительство» - ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко в составе специалистов: д-ра техн. наук: *И.И. Ведяков, П.Д. Одесский, П.Г. Еремеев*; кандидаты техн. наук: *М.И. Гукова, Д.В. Конин, Е.Р. Мацелинский, М.Р. Урицкий, М.И. Фарфель, Б.С. Цетлин, инж. С. В. Гуров*; ООО «ЦНИИПСК им. Мельникова» (канд. техн. наук *Э.Л. Айрумян*); НИУ МГСУ (д-р техн. наук *А.Р. Туснин*); ЗАО "Эркон" (д-р техн. наук, профессор *Г.И. Белый*); КГТУ (д-р техн. наук *А.И. Притыкин*); при участии канд. техн. наук *А.А. Нилова, А.Я. Мартынюка, М.В. Лазнюка*.

$$\alpha(\eta) = -2.43\eta^2 + 4.54\eta + 0.586 . \quad (173)$$

Момент инерции сечения  $I_m$  вычисляется по формуле

$$I_m = b_f t_f (h - t_f)^2 / 2 + t_w (h - 2t_f)^3 / 12 - t_w d^3 / 24 . \quad (174)$$

## 20.6 Элементы двутаврового сечения с гофрированной стенкой

### 20.6.1 Общие положения

20.6.1.1 В элементах двутаврового сечения для повышения их устойчивости и снижения металлоемкости используют поперечно-гофрированные стенки. Гофрированные стенки могут состоять из трапециевидных, треугольных или волнистых гофров.

Конструкции из двутавров с гофрированной стенкой, в том числе и бистальные, относятся к 1-му классу (согласно 8.1 СП 16.13330) и рассчитываются в пределах упругих деформаций.

Расчетными параметрами сложного двутаврового сечения с волнистой (синусоидальной) поперечно-гофрированной стенкой (рисунок 49) являются:  $a_s$  – шаг гофра;  $h_{ef}$  – расчетная высота стенки, которая равняется в сварных балках с гофрированной стенкой полной высоте стенки –  $h_w$ ;  $t_w$  – толщина гофрированной стенки;  $f$  – высота волны гофра;  $s$  – развернутая длина полуволны гофра  $s = a_s (1 + \pi^2 f^2 / 16 a_s^2)$ .

Гофрированную стенку следует принимать с:  
толщиной не менее чем 1,5 мм.

гибкостью гофрированных стенок в пределах  $\lambda_w \leq 200 \dots 500$ ;

условной гибкостью панели гофра  $\bar{\lambda}_c = s / t_w \sqrt{R_y / E} \leq 2,3$ .

Параметры гофров следует принимать такими, чтобы были обеспечены условия, при которых  $\tau_{p,cr} > \tau_{o,cr}$ , где  $\tau_{p,cr}$  и  $\tau_{o,cr}$  согласно 20.6.3.8 и 20.6.3.9 соответственно.

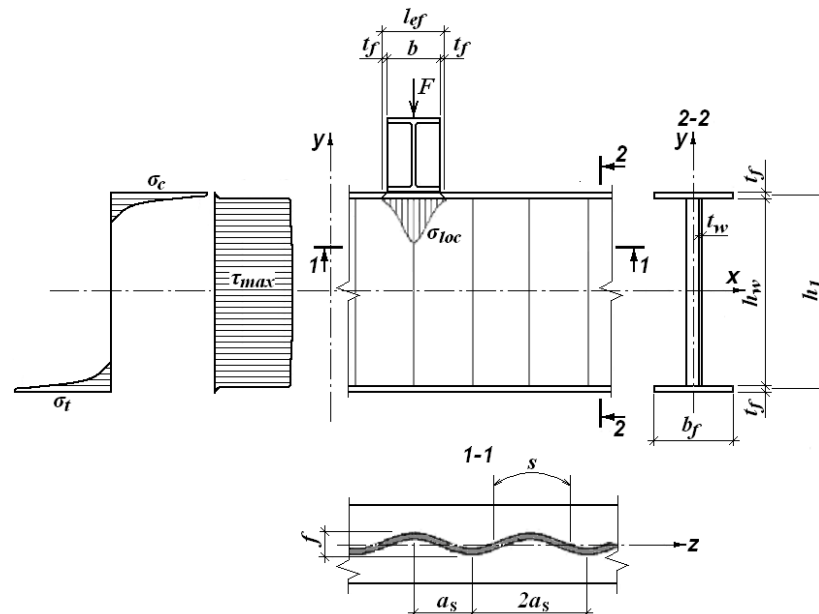


Рисунок 49 – Схема элемента с волнистой поперечно-гофрированной стенкой

20.6.1.2 В сварных двутаврах с гофрированными стенками следует применять односторонние поясные швы, за исключением мест приложения значительных сосредоточенных усилий или подвижных нагрузок.

### 20.6.2 Расчет двутавров с гофрированной стенкой при центральном растяжении и сжатии

20.6.2.1 Расчет на прочность элементов при центральном растяжении или сжатии следу-

ет выполнять по формуле (5) СП 16.13330, принимая за  $A_n$  площадь нетто двух поясов двутавра с гофрированной стенкой  $A_n = A_{f1n} + A_{f2n}$ .

20.6.2.2 Расчет на устойчивость элементов при центральном сжатии следует выполнять по формуле (7) СП 16.13330, принимая за  $A$  площадь брутто двух поясов двутавра с гофрированной стенкой  $A = A_{f1} + A_{f2}$ .

При расчете устойчивости элементов с гофрированной стенкой относительно оси  $y-y$  коэффициент  $\varphi$  определяется в зависимости от гибкости поясов двутавра  $\lambda = \ell_{ef}/i_f$ , где  $i_f$  – радиус инерции двух поясов.

Для несимметричных двутавров проверяется устойчивость каждого пояса в его плоскости отдельно.

При расчете устойчивости элементов с гофрированной стенкой относительно оси  $x-x$  коэффициент  $\varphi$  следует определять в зависимости от условной приведенной гибкости:

$$\bar{\lambda}_{ef} = \eta \lambda_x \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{\mu \eta l_x}{i_x} \sqrt{\frac{R_y}{E}}, \quad (175)$$

где коэффициент  $\eta$  учитывает влияние деформаций сдвига в тонкой гофрированной стенке.

Для волнистых стенок:

$$\eta = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 E}{\bar{G}A_w} \left( \frac{A_{f1} + A_{f2}}{\lambda_x^2} \right)}, \quad (176)$$

где  $\bar{G}A_w$  – приведенная жесткость элементов с гофрированной стенкой на сдвиг, учитывающая увеличение длины гофрированной стенки и рассчитываемая по формуле:

$$\bar{G}A_w = Gh_w t_w \frac{a}{s}. \quad (177)$$

Радиусы инерции сечения симметричного двутавра с гофрированной стенкой рассчитываются по формулам  $i_x = 0,5h_l$ , где  $h_l = h_w + t_f$  – расстояние между центрами тяжести поясов;  $i_y = 0,29b_f$ .

### 20.6.3 Расчет двутавров с гофрированной стенкой при изгибе

20.6.3.1 Расчет на прочность балок с гофрированной стенкой симметричного относительно вертикальной оси сечения следует выполнять по формулам:

при действии момента в одной из главных плоскостей

$$\frac{M_x}{A_{fn} h_l R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (178)$$

где  $A_{fn}$  – меньшая площадь нетто из двух поясов двутавра;

при действии в сечении поперечной силы

$$\frac{\tau_{xy}}{R_s \gamma_c} \leq 1; \quad \tau_{xy} = \frac{Q}{h_w t_w k_\lambda}, \quad (179)$$

здесь  $k_\lambda = 1,085 - 0,008 \bar{\lambda}_w$  (при  $k_\lambda > 1$  следует принимать  $k_\lambda = 1$ ),  $\bar{\lambda}_w$  – условная гибкость гофрированной стенки;

при действии момента в двух главных плоскостях

$$\frac{M_x}{A_{fn} h_l R_y \gamma_c} \pm \frac{M_y}{I_{yfn} R_y \gamma_c} x \leq 1, \quad (180)$$

где  $x$  – координата точки рассматриваемого сечения относительно его главной оси;

$I_{yfn}$  – сумма моментов инерции поясов нетто относительно оси  $y-y$ .

Если момент  $M_y$  действует в плоскости одного пояса, то следует считать, что он полностью воспринимается этим поясом.

В случае ослабления стенки отверстиями для болтов значения  $\tau_{xy}$  по формуле (179) следует умножать на коэффициент  $\alpha$ , который рассчитывается по формуле (45) СП 16.13330.

20.6.3.2 Расчет на прочность стенки балки, не укрепленной ребрами жесткости, при действии местного напряжения  $\sigma_{loc}$  в местах приложения нагрузки к поясам, а также в опорных сечениях балки, следует выполнять в соответствии с 8.2.2 СП 16.13330.

20.6.3.3 При проверке прочности гофрированной стенки должно выполняться требование по формуле (44) СП 16.13330, в которой  $\sigma_x$  следует определять по формуле:

$$\sigma_x = \sigma_f \cdot \frac{a_s}{s} \cdot k_s. \quad (181)$$

где коэффициент  $k_s = 1 - \pi^2 f^2 / 16 a_s^2$ ; здесь  $\sigma_f$  – нормальные напряжения в соответствующем поясе. Напряжения  $\sigma_{loc}$  и  $\tau_{xy}$  в формуле (44) СП 16.13330 следует определять

в одной и той же точке балки.

20.6.3.4 При расчете на устойчивость балок двутаврового сечения с гофрированными стенками, изгибающихся в плоскости стенки и удовлетворяющих условиям 20.6.3.1 и 20.6.3.3, следует выполнять проверку на устойчивость сжатых поясов по формуле:

$$\frac{N_f}{\varphi_f A_f R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (182)$$

где  $A_f$  – площадь брутто сжатого пояса;  $\varphi_f$  – коэффициент, который определяется по 7.1.3 СП 16.13330, как для центрально-сжатого стержня, в зависимости от  $\lambda = l_{ef} / i_f$ ; здесь  $l_{ef}$  определяется по 8.4.2 СП 16.13330, а  $i_f$  – радиус инерции сечения сжатого пояса в горизонтальной плоскости.

Для сжатого пояса, выполненного из листовой стали, радиус инерции сечения вычисляется по формуле  $i_f = 0,29 b_f$ ;  $N_f = M_1 / h_1$  – сила сжатия в поясе, где  $M_1$  – максимальный изгибающий момент в средней трети длины балки между точками раскрепления.

Устойчивость балок с гофрированной стенкой не нужно проверять, если выполняются условия в соответствии с 8.4.4 СП 16.13330, как для балок с плоской стенкой. При определении коэффициента  $\mu$  в соответствии с 8.4.4 СП 16.13330 и при расчете условной поперечной силы  $N$  в соответствии с 8.4.5 СП 16.13330 прилегающие участки стенок к сжатому поясу учитывать не следует.

20.6.3.5 При изгибе балок с гофрированными стенками в двух главных плоскостях расчет на устойчивость сжатого пояса следует выполнять по формуле:

$$\frac{N_f}{\varphi_e A_f R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (183)$$

где  $\varphi_e$  – коэффициент, который определяется в соответствии с таблицей Д.3 СП 16.13330, как для внецентренно сжатого стержня, в зависимости от условной гибкости сжатого пояса  $\bar{\lambda} = (l_p / 0,29 b_f) \sqrt{R_y / E}$  (здесь  $l_p$  – расчетная длина пояса в его плоскости) и приведенного относительного эксцентриситета  $m_{ef} = \eta \cdot m$ , где  $\eta = 1$  – коэффициент влияния формы сечения;

$$m = \frac{6 \cdot M_y}{N_f \cdot b_f}. \quad (184)$$

20.6.3.6 Устойчивость стенок балок с гофрированной стенкой следует считать обеспеченной, если выполнено условие:

$$\frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\left( \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{xy}}{\tau_{cr}} \right)^2} \leq 1. \quad (185)$$

где  $\sigma_{loc}$  – местное напряжение в стенке от сосредоточенной нагрузки, которое следует определять в соответствии с 8.2.2 СП 16.13330;  $\sigma_{loc,cr}$  – критическое напряжение, рассчитываемое по формуле:

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{0,8c_1 R_y}{\lambda_c^2}, \quad (186)$$

здесь  $c_1$  – коэффициент, который определяется по 20.6.3.7;  $\tau_{xy}$  – по формуле (179);  $\tau_{cr}$  – меньшее из значений  $\tau_{p,cr}$  и  $\tau_{o,cr}$  в соответствии с 20.6.3.8 и 20.6.3.9.

20.6.3.7 Коэффициент  $c_1$  в формуле (186) принимается по таблице 56, в зависимости от соотношения  $s/h_w$  и значения  $\delta$ , которое рассчитывается по формуле (84) СП 16.13330.

Т а б л и ц а 56

$\delta$	Значение $c_1$ для двутавров с гофрированными стенками при $s/h_w$ , равном				
	$\leq 0,1$	0,2	0,3	0,4	$\geq 0,5$
1	7,73	8,50	9,34	10,30	11,30
2	7,67	8,50	9,50	10,60	11,80
4	7,57	8,50	9,53	10,70	12,00
$\geq 6$	7,69	8,67	9,77	11,02	12,40

20.6.3.8 Критическое напряжение местной потери устойчивости панели волнистой гофры  $\tau_{p,cr}$  рассчитывается по формуле:

$$\tau_{p,cr} = 1,12 \left( 5,34 + \frac{f \cdot s}{h_w \cdot t_w} \right) \frac{R_s}{\lambda_c^2}. \quad (187)$$

20.6.3.9 Критическое напряжение общей потери устойчивости гофрированной стенки  $\tau_{o,cr}$ :

$$\tau_{o,cr} = 32,4 \frac{\sqrt[4]{D_1 D_2^3}}{h_w^2 t_w}, \quad (188)$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – жесткости изгиба по главным направлениям, Н·мм:

$$D_1 = \frac{E t_w^3}{12(1-\nu^2)} \frac{a_s}{s}; \quad D_2 = \frac{EJ}{a_s}, \quad (189)$$

где  $J$  – момент инерции гофра, длина которого равняется шагу гофров  $a_s$ .

20.6.3.10 При проверке устойчивости гофрированной стенки по формуле (186) должны выполняться условия:

$$а) \quad \frac{\sigma_{loc}}{\gamma_c \sigma_{loc,cr}} \leq 0,75, \quad (190)$$

б) величина эксцентриситета, с которым передается сосредоточенная нагрузка от элемента, находящегося выше, относительно продольной оси балки не должна превышать  $e \leq 0,5f$ .

20.6.3.11 Гофрированные стенки следует подкреплять поперечными ребрами жесткости, если в местах приложения больших неподвижных сосредоточенных нагрузок и на опорах элементов с гофрированной стенкой не обеспечивается их прочность или устойчивость при проверке по формулам (46) СП 16.13330 и (185) соответственно. Геометрические характеристики ребер жесткости должны отвечать требованиям 8.5.9 СП 16.13330, а их расчет следует выполнять в соответствии с 8.5.10 и 8.5.17 СП 16.13330.

Проверку на устойчивость опорного ребра балки с гофрированной стенкой выполнять в соответствии с 8.5.17 СП 16.13330 без учета поддерживающего эффекта гофрированной стенки.

20.6.3.12 Устойчивость сжатых поясов балок с гофрированной стенкой следует считать

обеспеченной при выполнении условий 8.5.18 та 8.5.20 СП 16.13330. При вычислении отношения ширины сжатого пояса  $b_f$  к толщине  $t_f$  расчетную ширину свеса пояса  $b_{ef}$  следует принимать равной  $b_{ef} = 0,5 \cdot b_f$ .

Напряжение в сжатом поясе  $\sigma_c$  согласно с 8.5.18 СП 16.13330 следует определять по формулам:

$$\sigma_c = \frac{M}{A_{fn} h_1 \gamma_c} \text{ или } \sigma_c = \frac{M_x}{A_{fn} h_1 \gamma_c} + \frac{M_y}{W_{yfn} \gamma_c}, \quad (191)$$

где  $W_{yfn}$  – сумма моментов сопротивления поясов относительно оси  $y - y$ .

#### 20.6.4 Расчет двутавров с гофрированной стенкой на действие продольной силы и изгибающего момента

20.6.4.3 Расчет на прочность внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов с гофрированной стенкой следует выполнять по формуле:

$$\frac{N}{(A_{f1n} + A_{f2n}) R_y \gamma_c} + \frac{M_x}{A_{fn} h_1 R_y \gamma_c} \pm \frac{M_y}{I_{yfn} R_y \gamma_c} x \leq l. \quad (192)$$

20.6.4.4 Расчет устойчивости внецентренно сжатых двутавров с гофрированной стенкой принят по методике сквозных стержней, так как стенка не принимает участия в работе на сжатие и изгиб, и выполняется по 9.3.2 СП 16.13330, где коэффициент  $\varphi_e$  определяется в зависимости от условной приведенной гибкости  $\bar{\lambda}_{ef}$  в соответствии с 20.6.2.2 и относительного эксцентриситета  $m = e A_f h_1 / I_f$ . Для симметричного сечения  $\bar{\lambda}_{ef}$  определяется по радиусу инерции  $i_x = 0,5 h_1$ .

20.6.4.5 Расчет устойчивости внецентренно сжатых элементов двутаврового сечения с гофрированной стенкой из плоскости действия момента при изгибе в плоскости наибольшей жесткости ( $I_x > I_y$ ), которая совпадает с плоскостью симметрии, следует выполнять для каждого пояса отдельно, как для центрально сжатого стержня в соответствии с формулой (5) СП 16.13330 на продольную силу, которая определяется с учетом дополнительного усилия от момента. Значение дополнительного усилия в поясе от момента:  $N_{ad} = M_x / h_1$ , где  $M_x$  – изгибающий момент, который принимается в соответствии с 9.2.3 СП 16.13330, как при расчете устойчивости внецентренно сжатых стержней сквозного сечения.

20.6.4.6 Расчет устойчивости внецентренно сжатых элементов двутаврового сечения с гофрированной стенкой при сжатии и изгибе в двух плоскостях, и если плоскость наибольшей жесткости ( $I_x > I_y$ ) совпадает с плоскостью симметрии, следует выполнять:

для стержня в целом – в плоскости наибольшей жесткости (в плоскости стенки) в соответствии с 20.6.4.4, принимая  $e = 0$ ;

для поясов двутавра – как внецентренно сжатых элементов по формуле (109) СП 16.13330, при этом продольную силу следует определять с учетом усилия от момента  $M_x$  (в соответствии с 20.6.3.4), а момент  $M_y$  распределять между поясами двутавра пропорционально их жесткостям (если момент  $M_y$  действует в плоскости одного пояса, то следует считать, что он полностью воспринимается этим поясом).

Расчетную длину поясов в своей плоскости следует принимать по типу определения расчетной длины колонн в плоскости рамы в соответствии с 10.3.9 СП 16.13330.

20.6.4.7 Расчет гофрированных стенок центрально сжатых и внецентренно сжатых стержней следует выполнять на поперечную силу, которая равняется большему из двух значений: фактическую поперечную силу (для внецентренно сжатых стержней) или условную поперечную силу  $Q_{fic}$ , которая определяется в соответствии с 7.2.7 СП 16.13330.

20.6.4.8 Для центрально сжатых и внецентренно сжатых элементов двутаврового сечения с гофрированной стенкой параметры стенки следует принимать в соответствии с 20.6.1 и

20.6.4.7.

20.6.4.9 В центрально сжатых и внецентренно сжатых элементах двутаврового сечения с гофрированной стенкой отношение ширины сжатого пояса  $b_f$  к толщине  $t_f$  следует принимать по указаниям 20.6.3.12, при этом определение напряжения в сжатом поясе  $\sigma_c$  в формуле (97) СП 16.13330 выполнять по формулам:

$$\sigma_c = \frac{N}{(A_{f1n} + A_{f2n})\gamma_c} \quad \text{или} \quad \sigma_c = \frac{N}{(A_{f1n} + A_{f2n})\gamma_c} + \frac{M_x}{A_{fn}h_l R_y \gamma_c} \pm \frac{M_y}{W_{yfn} R_y \gamma_c}. \quad (193)$$

## 20.7 Балки крановых путей

20.7.1 Стенки сварных балок крановых путей, находящихся в особо тяжелых условиях работы, следует рассчитывать на усталость согласно разделу 12 СП 16.13330. Примерный перечень производственных зданий, в которых балки крановых путей должны рассчитываться на усталость, приведен в таблице 57.

Таблица 57

Здания	Заводы
Дворы изложниц	Металлургические
Шихтовые дворы	То же
Отделения раздевания слитков	»
Скрапо-разделочные базы; копровые и шлаковые отделения; отделения огневой резки	»
Склады чугуна и слитков	»
Здания очистки и смазки изложниц	»
Пролеты складов заготовок; отделочные пролеты и пролеты складов готового проката	»
Здания нагревательных колодцев	»
Здания (пролеты или производства), в которых эксплуатируются краны групп режимов работы 7К (в цехах металлургических производств) и 8К по стандарту режимов работы грузоподъемных кранов (см. СП 20.13330)	Любые

Расчет на усталость выполняется на воздействие от нормативных нагрузок одного крана.

20.7.2 Расчетными сечениями при расчете балок крановых путей на усталость являются: для разрезных балок – сечение, отстоящее на расстояние  $0,2 a + 0,35l_{ef}$  от ближайшего к середине пролета поперечного ребра жесткости (в направлении к середине пролета);

для неразрезных балок – сечение, отстоящее от опорного ребра жесткости на расстояние  $0,2 a + 0,35l_{ef}$ , где  $a$  – шаг ребер;  $l_{ef}$  – условная длина, на которую распределяется давление колеса крана (см. СП 16.13330).

20.7.3 Расчет на усталость выполняется для верхней зоны стенки в месте примыкания ее к верхнему поясу балки. В этом месте стенка находится в условиях сложного напряженного состояния, определяемого воздействием косоугольного изгиба, стесненного кручения и местными воздействиями сосредоточенных сил и моментов.

Причиной усталостных повреждений верхних зон балок крановых путей являются многократные сдвиги, обусловливаемые максимальными касательными напряжениями от совместного действия поперечного изгиба, местного смятия и кручения  $\max \sum \tau_{12}$ .

20.7.4 Величина  $\max \sum \tau_{12}$  с достаточной степенью точности определяется суммированием максимальных касательных напряжений поперечного изгиба  $0,5\sqrt{\sigma_x^2 + 4(k\tau_{xy})^2}$ , местного смятия  $0,4 \sigma_{loc,y}$  и кручения  $0,5 \sigma_{fy}$ . В двух последних случаях для упрощения расчета значения максимальных касательных напряжений определены через нормальные напряжения, которые вычисляются по СП 16.13330.

Суммированием приведенных величин при  $k = 0,3$  ( $k$  – учитывает плавность изменения эпюры касательных напряжений в расчетном сечении) получена формула (173) СП 16.13330.