



УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР  
СТАЛЬНОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА

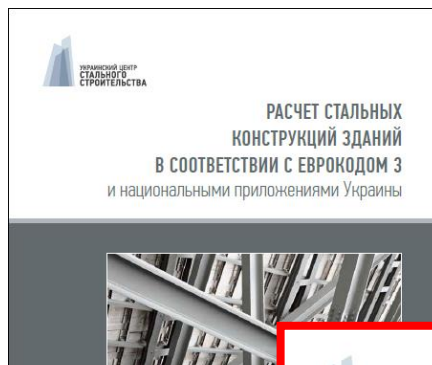
**Численный пример.** Проверка прочности и устойчивости сжато-изогнутой стойки из С-образного холодноформованного профиля, работающей в составе каркаса ограждающей панели.

Никита Беляев  
ведущий инженер-конструктор УЦСС

Семинар «ЛСТК: проектирование, производство и монтаж»  
16-17 апреля 2015



# Публикации УЦСС



# Открываем страницу 68

## Размеры

Высота стойки  $L = 2700$  мм

Шаг стоек  $s = 600$  мм

## Нагрузки

Расчетное значение продольного усилия  $N_{Ed} = 4.5$  кН

Характеристическая ветровая нагрузка  $q_k = 1.2$  кН/м<sup>2</sup>

Максимальный расчетный момент, вызываемый ветром  $M_{y,Ed} = 0.98$  кНм

## Размеры профиля и свойства материала

Стойка стены представляет собой С-образный профиль с отгибами полок, изготовленный из стали марки S350 с цинковым покрытием Z275 в соответствии со стандартом EN 10346.

Высота профиля  $h = 100$  мм

Ширина полки  $b = 45$  мм

Высота отгиба  $c = 12.0$  мм

Радиус закругления  $r = 1.5$  мм

Номинальная толщина  $t_n = 1.2$  мм

Толщина стали  $t = 1.16$  мм

Основной предел текучести  $f_{yb} = 350$  Н/мм<sup>2</sup>

Модуль упругости  $E = 2100000$  Н/мм<sup>2</sup>

Модуль сдвига  $G = 80770$  Н/мм<sup>2</sup>

Частный коэффициент  $\gamma_{M0} = 1.0$

Частный коэффициент  $\gamma_{M1} = 1.0$

исходные данные

М0 – для проверок прочности;  
М1 – для проверок устойчивости

# Характеристики сечения заданы – страница 69

## Характеристики сечения брутто

Площадь

$$A_{gr} = 242.7 \text{ мм}^2$$

Радиус инерции относительно оси  $y$

$$i_y = 40.2 \text{ мм}$$

Радиус относительно оси  $z$

$$i_z = 16.8 \text{ мм}$$

Расстояние от полки до оси  $y$

$$y_{flange} = 49.4 \text{ мм}$$

Расстояние от стенки до оси  $z$

$$z_{web} = 13.9 \text{ мм}$$

Расстояние от центра изгиба до оси  $z$

$$y_o = 35.0 \text{ мм}$$

Расстояние от центра изгиба до оси  $y$

$$z_o = 0.0 \text{ мм}$$

Момент инерции при свободном кручении

$$I_t = 108.8 \text{ мм}^4$$

Секториальный момент инерции

$$I_w = 1.41 \times 10^8 \text{ мм}^6$$

Момент инерции сечения относительно оси  $y$

$$I_y = 392000 \text{ мм}^4$$

сечение брутто – для  
проверок устойчивости

## Характеристики эффективного сечения

Эффективная площадь при сжатии

$$A_{eff} = 153.6 \text{ мм}^2$$

Момент сопротивления сечения относительно оси  $y$   
в упругой стадии при изгибе

$$W_{eff,y} = 6929 \text{ мм}^3$$

Момент сопротивления сечения относительно  
оси  $z$  в упругой стадии при изгибе

$$W_{eff,z} = 2101 \text{ мм}^3$$

Расстояние от полки до оси  $y$  (при сжатии)

$$y_{flange} = 49.4 \text{ мм}$$

Расстояние от стенки до оси  $z$  (при сжатии)

$$z_{web} = 15.5 \text{ мм}$$

Момент инерции сечения относительно оси  $y$  (при изгибе)

$$I_{y,eff} = 360800 \text{ мм}^4$$

эффективные сечения - для  
проверок прочности и  
устойчивости

# 1. Проверим прочность

## Несущая способность сечения

### Осевое сжатие

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-3  
6.1.3

Расчетная несущая способность поперечного сечения на сжатие определяется формулой:

$$N_{c,Rd} = A_{eff} \cdot f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$N_{c,Rd} = 153.6 \times 350 \times 10^{-3} / 1.0 = 53.8 \text{ кН}$$

площадь эффективного  
сечения при сжатии

### Изгиб

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-3  
6.1.4

Расчетная несущая способность на изгиб относительно оси  $y$  определяется по формуле:

$$M_{cy,Rd} = W_{eff,y} \cdot f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$M_{cy,Rd} = 6929 \times 350 \times 10^{-6} / 1.0 = 2.4 \text{ кНм}$$

момент сопротивления при  
изгибе относительно  $y$ -у

Расчетная несущая способность на изгиб относительно оси  $z$  определяется следующим образом:

$$M_{cz,Rd} = W_{eff,z} \cdot f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$M_{cz,Rd} = 2101 \times 350 \times 10^{-6} / 1.0 = 0.7 \text{ кНм}$$

момент сопротивления при  
изгибе относительно  $z$ - $z$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1,$$

Предельные моменты определяются для условий чистого изгиба в разных плоскостях. Используются геометрические характеристики 3-х эффективных сечений. Индекс «com» (compression) означает, что момент определяется по критерию предельного сжимающего напряжения.

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-3  
6.1.9

## Совместное действие усилий

Эксцентриситет приложения осевых усилий за счет смещения нейтральной оси эффективного сечения относительно нейтральной оси сечения брутто приводит к появлению

дополнительного момента, вызываемого продольными нагрузками, предположительно прикладываемыми по нейтральной оси сечения брутто.

Смещение по оси  $y$  при сжатии описывается выражением:

$$e_{Ny} = 49.4 - 49.4 = 0.0 \text{ мм}$$

Смещение по оси  $z$  при сжатии определяется формулой:

$$e_{Nz} = 15.5 - 13.9 = 1.6 \text{ мм}$$

Дополнительный момент относительно оси  $y$  от смещения осей:

$$\Delta M_{y,Ed} = e_{Ny} \times N_{ed} = 0.000 \text{ кНм}$$

Дополнительный момент относительно оси  $z$  от смещения осей:

$$\Delta M_{z,Ed} = e_{Nz} \times N_{ed} = 4.5 \times 1.6 \times 10^{-3} = 0.007 \text{ кНм}$$

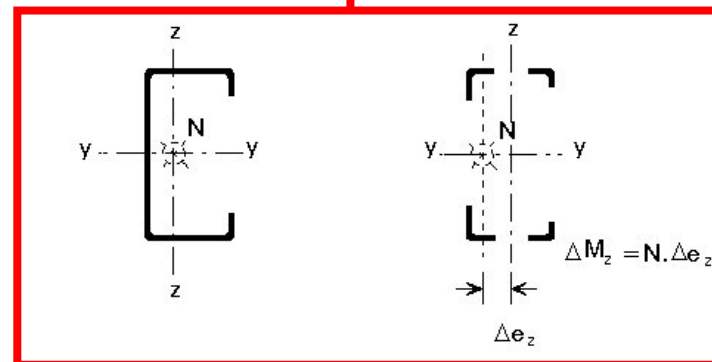
ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-3  
6.1.9

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{4.5}{53.8} + \frac{0.98 + 0.0}{2.4} + \frac{0 + 0.007}{0.7} \leq 1$$

$$0.08 + 0.41 + 0.01 = 0.50 \leq 1.0$$

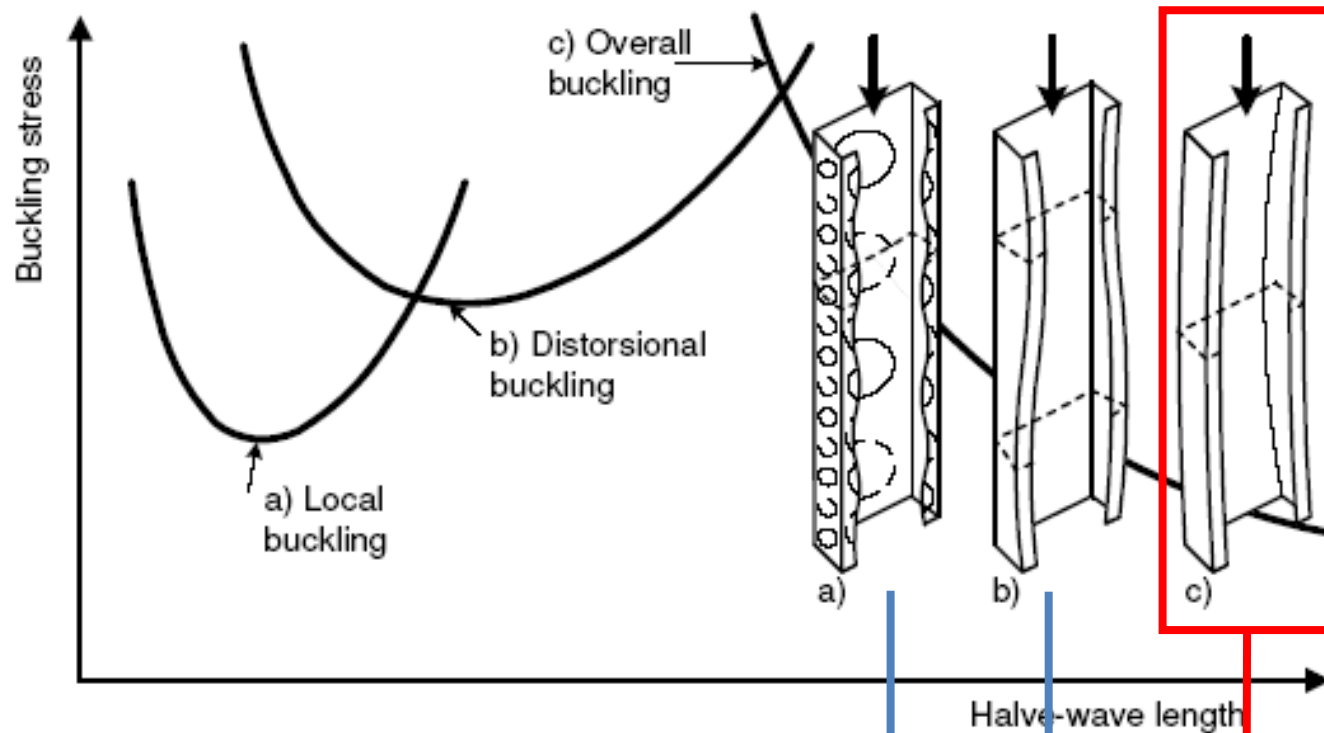
Условие выполняется



все полученные значения  
подставляются в формулу



## 2. Проверим устойчивость



Учтено редуцированием сечения

Учтено редуцированием сечения

Следует проверить

## Несущая способность по потере устойчивости элемента

Потеря устойчивости в форме продольного изгиба относительно оси наибольшей жесткости (оси  $y$ )

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-3  
6.2.2

Согласно Таблице 5.1 для С-образного профиля с отгибами полок применяется кривая потери устойчивости  $b$ .

Расчетная длина относительно оси  $y$  принимается равной длине элемента.

$$L_{cr,y} = 2700 \text{ мм}$$

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-1  
6.3.1.3

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{350}} = 76.95$$

### Условная гибкость

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A_{gr}}}; \quad \bar{\lambda} = \frac{2700}{40.2} \sqrt{\frac{153.6}{242.7}} = 0.695$$

Еврокод 3, Часть 1-1

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-1  
Табл. 6.1

Для кривой потери устойчивости  $b$  коэффициент несовершенства  $\alpha$  составляет 0.34.

$$\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\Phi = 0.5[1 + 0.34(0.695 - 0.2) + 0.695^2] = 0.825$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\chi = \frac{1}{0.825 + \sqrt{0.825^2 - 0.695^2}} = 0.787$$

Несущая способность по потере устойчивости в форме продольного изгиба:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.787 \times 153.6 \times 350 \times 10^{-3}}{1.0} = 42.3 \text{ кН}$$

Проверка выполнения условия

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 4.5 / 42.3 = 0.11 < 1.0$$

Условие выполняется

Нужно рассмотреть три типа форм потери устойчивости: продольный изгиб, изгибно-крутильные при сжатии и изгибе

Таблица 5.2 Учитываемые формы потери устойчивости сжатых тонкостенных стальных профилей открытого сечения

Тип профиля	Учитываемые формы потери общей устойчивости
Кососимметричные профили открытого сечения,	Форма продольного изгиба
Профили с одной осью симметрии:	Форма продольного изгиба
	Изгибно-крутильная форма
Несимметричные профили открытого сечения	Форма продольного изгиба
	Крутильная форма
	Изгибно-крутильная форма

Таблица 5.1 Выбор кривой потери устойчивости для различных типов профилей

Тип профиля	Потеря устойчивости относительно оси	Кривая потери устойчивости	
	при использовании $f_{yb}$	Любая	b
	при использовании $f_{ya}^*$	Любая	c
	y-y	a	
	z-z	b	
	любая	b	
	любая	c	
	любая	c	
	или любое другое сечение	любая	c

\* - среднее значение предела текучести  $f_{y\text{ср}}$ , не разрешается использовать, кроме случая  $A_{y\text{ср}} = A_x$ .



Потеря устойчивости в форме продольного изгиба относительно оси наименьшей жесткости (оси z)

Расчетная длина относительно оси z принимается равной половине длины элемента благодаря наличию поперечного раскрепления в уровне середины высоты.

$$L_{cr,z} = 2700 / 2 = 1350 \text{ мм}$$

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-1  
6.3.1.3

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{350}} = 76.95$$

Условная гибкость:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A_{gr}}}; \bar{\lambda} = \frac{1350}{16.8} \sqrt{\frac{153.6}{242.7}} = 0.830$$

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-1  
Табл. 6.1

Для кривой потери устойчивости  $b$  коэффициент несовершенства  $\alpha$  равен 0.34, следовательно

$$\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\Phi = 0.5[1 + 0.34(0.830 - 0.2) + 0.830^2] = 0.952$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\chi = \frac{1}{0.952 + \sqrt{0.952^2 - 0.830^2}} = 0.706$$

Несущая способность по потере устойчивости в форме продольного изгиба:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.706 \times 153.6 \times 350 \times 10^{-3}}{1.0} = 37.9 \text{ кН}$$

Проверка выполнения условия

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 4.5 / 37.9 = 0.12 < 1.0$$

Условие выполняется



# Страницы 71-72

## Крутильная форма потери устойчивости

Расчетные длины для крутильной формы потери устойчивости составляют:

$$L_{T,y} = 2700 \text{ мм}$$

$$L_{T,z} = 1350 \text{ мм}$$

Расчет полярного радиуса инерции выполняется следующим образом:

$$i_o^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_o^2 + z_o^2$$

$$i_o^2 = 40.2^2 + 16.8^2 + 35.0^2 + 0.0^2 = 3123 \text{ мм}^2$$

$$i_o = 55.9 \text{ мм}$$

Критическое усилие потери устойчивости по крутильной форме шарнирно опертого элемента определяется по формуле:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_o^2} \left( G I_t + \frac{\pi^2 E I_w}{L_T^2} \right)$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{55.9^2} \left( 80770 \times 108.8 + \frac{\pi^2 \times 210000 \times 1.41 \times 10^8}{1350^2} \right) = 54.27 \text{ кН}$$

Требуется для расчета изгибно-крутильной формы потери устойчивости при сжатии

Для шарнирно опертого элемента см. страницы 27-28

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-3  
6.2.3(5)

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-1  
6.3.1.4

Условная гибкость:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{153.6 \times 350 \times 10^{-3}}{54.27}} = 0.995$$

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-1  
6.3.1.2

Для кривой потери устойчивости в коэффициент несовершенства  $\alpha$  равен 0.34.

$$\Phi_T = 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\Phi_T = 0.5 \left[ 1 + 0.34 (0.995 - 0.2) + 0.995^2 \right] = 1.131$$

$$\chi_T = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\chi_T = \frac{1}{1.131 + \sqrt{1.131^2 - 0.995^2}} = 0.600$$

Несущая способность по потере устойчивости в крутильной форме:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_T A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.600 \times 153.6 \times 350 \times 10^{-3}}{1.0} = 32.3 \text{ кН}$$

Проверка выполнения условия

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 4.5 / 32.3 = 0.14 < 1.0$$

Условие выполняется

# Страницы 72-73

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-3  
6.2.3(7)

**Изгибно-крутильная форма потери устойчивости**

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{L_{cr,y}^2}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 392000 \times 10^{-3}}{2700^2} = 111.5 \text{ кН}$$

$$\beta = 1 - \left( \frac{y_o}{i_o} \right)^2 = 1 - \left( \frac{35.0}{55.9} \right)^2 = 0.608$$

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-3  
6.2.3(7)

Критическое усилие потери устойчивости по изгибно-крутильной форме определяется по формуле:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta} \left[ 1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left( 1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} \right)^2 + 4 \left( \frac{y_o}{i_o} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}} \right]$$

$$N_{cr,TF} = \frac{111.5}{2 \times 0.608} \left[ 1 + \frac{54.27}{111.5} - \sqrt{\left( 1 - \frac{54.27}{111.5} \right)^2 + 4 \left( \frac{35.0}{55.9} \right)^2 \frac{54.27}{111.5}} \right] = 43.41 \text{ кН}$$

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-1  
6.3.1.4

Условная гибкость:

$$\bar{\lambda}_{TF} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{TF} = \sqrt{\frac{153.6 \times 350 \times 10^{-3}}{43.41}} = 1.113$$

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-1  
6.3.1.2

Для кривой потери устойчивости  $b$  коэффициент несовершенства  $\alpha$  равен 0.34.

$$\Phi_{TF} = 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\Phi_{TF} = 0.5 \left[ 1 + 0.34 (1.113 - 0.2) + 1.113^2 \right] = 1.274$$

$$\chi_{TF} = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\chi_{TF} = \frac{1}{1.274 + \sqrt{1.274^2 - 1.113^2}} = 0.528$$

Несущая способность по потере устойчивости в изгибно-крутильной форме:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{TF} A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.528 \times 153.6 \times 350 \times 10^{-3}}{1.0} = 28.4 \text{ кН}$$

Проверка выполнения условия

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 4.5 / 28.4 = 0.16 < 1.0$$

**Условие выполняется**

... при сжатии

полярный радиус инерции из  
предыдущего расчета

подставляются значения  
критических усилий по  
крутильной форме и форме  
продольного изгиба

## Потеря устойчивости плоской формы изгиба

Максимальная длина элемента между точками поперечного раскрепления составляет половину длины элемента.

$$L = 1350 \text{ мм}$$

Коэффициенты, зависящие от нагрузки и условий опирания:

$$C_1 = 1.127$$

$$C_2 = 0.454$$

Коэффициент расчетной длины для поворота концов в плане  $k = 1.00$

Коэффициент расчетной длины для скручивания на концах  $k_w = 1.00$

Расстояние от уровня приложения нагрузки до центра изгиба принимается равным половине высоты стойки.

$$z_g = 100 / 2 = 50 \text{ мм}$$

При расчете  $M_{cr}$  используется коэффициент  $g$ . Его значение может быть принято с запасом как 1.0 либо быть рассчитано.

$$g = \sqrt{1 - \frac{I_z}{I_y}} \quad g = \sqrt{1 - \frac{68550}{392000}} = 0.908$$

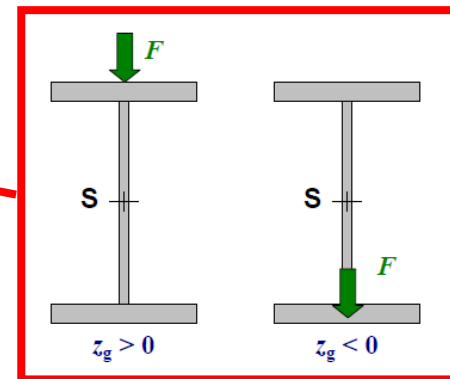
Критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии описывается формулой:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2 g} \left( \sqrt{\left( \frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}} + (C_2 z_g)^2 - C_2 z_g \right)$$

$$M_{cr} = 2.82 \text{ кНм}$$

Loading and support conditions	Bending moment diagram	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
		1,127	0,454
		2,578	1,554
		1,348	0,630
		1,683	1,645

Note : the critical moment  $M_{cr}$  is calculated for the section with the maximal moment along the member



Статья SN003, NCCI: Расчет критического момента потери устойчивости в упругой стадии

Статья SN002, NCCI: Определение условной гибкости двутавровых сечений

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-3  
6.2.4

Для потери устойчивости плоской формы изгиба необходимо использовать кривую потери устойчивости *b*.

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-1  
6.3.1.4

Условная гибкость:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,eff} f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{6929 \times 350 \times 10^{-6}}{2.82}} = 0.927$$

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-1  
6.3.2.1

Для кривой потери устойчивости *b* коэффициент несовершенства  $\alpha$  равен 0.34

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + 0.34(0.927 - 0.2) + 0.927^2] = 1.054$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1.054 + \sqrt{1.054^2 - 0.927^2}} = 0.644$$

Несущая способность по потере устойчивости плоской формы изгиба равна:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{eff,y} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0.644 \times 6929 \times 350 \times 10^{-6}}{1.0} = 1.56 \text{ кНм}$$

Проверка выполнения условия

$$M_{Ed} / M_{b,Rd} = 0.98 / 1.56 = 0.63 < 1.0$$

Условие выполняется

Согласно Части 1-3 для холодноформованных профилей при изгибе следует использовать только кривую устойчивости "b"

Таблица 6.4 Коэффициенты несовершенств для потери устойчивости плоской формы изгиба

Кривая потери устойчивости	a	b	c	d
Коэффициент несовершенств $\alpha_{LT}$	0.21	0.34	0.49	0.76

индекс LT (Lateral-Torsional) в Еврокоде 3 указывает на параметры, относящиеся к потере устойчивости плоской формы изгиба

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-3  
6.2.5

## Совместное действие усилия сжатия и изгибающего момента

Проверка на совместное действие изгибающего момента и продольной силы может быть выполнена расчетом второго порядка либо по следующей формуле:

$$\left( \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \right)^{0.8} + \left( \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \right)^{0.8} \leq 1.0$$

где  $N_{b,Rd}$  – минимальное из значений несущей способности по потере устойчивости в форме продольного изгиба, крутильной и изгибно-крутильной формах.

$M_{Ed}$  включает в себя любые дополнительные моменты, возникающие в связи с эксцентриситетами.

$$\left( \frac{4.5}{28.4} \right)^{0.8} + \left( \frac{0.98 + 0.0}{1.56} \right)^{0.8} = 0.23 + 0.69 = 0.92 < 1.0$$

Условие выполняется

Возведение в степень 0,8 увеличивает значения  $<1$ , чем учитывает неблагоприятное взаимное действие

Аналогично другим металлоконструкциям устойчивость, как правило, является критической за исключением полностью раскрепленных элементов (см. Пример 7 с раскрепленной балкой). Предыдущие коэффициенты использования: 0.5; 0.4; 0.12; 0.14; 0.16; 0.63



### 3. Проверим эксплуатационную пригодность

#### Проверка по эксплуатационной пригодности

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-3  
5.1(3)

Для проверки по эксплуатационной пригодности необходимо всегда учитывать влияние закруглений углов на геометрические характеристики сечения. В рамках этого примера принято, что максимальное напряжение при расчете по эксплуатационной пригодности равно пределу текучести, деленному на 1,5.

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-3  
7.1(3)

$$I_{fic} = I_{gr} - \left( \frac{1}{1.5} \right) (I_{gr} - I_{eff})$$

$$I_{fic} = 392000 - \left( \frac{1}{1.5} \right) (392000 - 360800) = 371200 \text{ мм}^4$$

ДСТУ-Н Б EN  
1993-1-3  
5.1(4)

Коэффициент учета закруглений  $\delta$  равен:

$$\delta = 0.43 \frac{\sum_{j=1}^n r_j}{\sum_{i=1}^m b_{p,i}} = 0.43 \frac{4 \times 1.5}{(98.8 + 2 \times 43.8 + 2 \times 11)} = 0.01$$

С учетом закруглений углов момент инерции сечения при расчете по эксплуатационной пригодности определяется следующим образом:

$$I_{SLS} = I(1 - 2\delta) = 371200(1 - 0.02) = 363800 \text{ мм}^4$$

Суммарная ветровая нагрузка:

$$W = Ls q_k = 2700 \times 600 \times 1.2 \times 10^{-6} = 1.94 \text{ кН}$$

Прогиб от действия ветра равен:

$$\delta_{wind} = \frac{5}{384} \frac{WL^3}{EI_{SLS}} = \frac{5}{384} \frac{1.94 \times 2700^3 \times 10^{-3}}{210000 \times 363800} = 6.5 \text{ мм}$$

Предельный прогиб принимается по таблице НБ.2.8 национального приложения ДСТУ-Н Б EN 1990<sup>[5]</sup> равным 1/300 высоты этажа.

$$\delta_{limit} = 2700 / 300 = 9.0 \text{ мм} > 6.5 \text{ мм}$$

Условие выполняется

Могут проверяться аналогично другим МК, но с учетом редуцирования сечения. Часть 1-3 дает альтернативный расчет, представленный в примере.

Таблица 7.3 Предельные горизонтальные перемещения

Здания, стены и перегородки	Крепление стен и перегородок к каркасу здания	Предельное перемещение $f_u$
1 Многоэтажные здания	Любое	$h/500$
2 Один этаж многоэтажных зданий	Податливое	$h/300$
а) стены и перегородки из кирпича, гипсокартона, железобетонных панелей	Жесткое	$h/500$
б) стены, облицованные естественным камнем, из керамических блоков, из стекла (фасадные системы)	Жесткое	$h/700$
3 Одноэтажные здания (с самонесущими стенами) высотой этажа $h_e$ , м:	Податливое	
$h_e \leq 6$		$h/150$
$h_e = 15$		$h/200$
$h_e \geq 30$		$h/250$

**Обозначения, принятые в таблице:**  
 $h$  – высота многоэтажных зданий, равная расстоянию от верха фундамента до  $h_e$  – высота этажа в одноэтажных зданиях, равная расстоянию от верха фундамента до верха конструкций; в многоэтажных зданиях: для нижнего этажа – равная расстоянию от верха фундамента до верха конструкций; для остальных этажей – равная расстоянию между отметками пола и потолка.

**Примечание 1.** Для промежуточных значений  $h_e$  (поз. 3) горизонтальные перемещения следует определять линейной интерполяцией.  
**Примечание 2.** К податливым креплениям относятся крепления стен или перегородок к каркасу здания, позволяющие смещению каркаса (без передачи на стены или перегородки) и повреждения конструктивных элементов); к жестким – крепления, препятствующие смещению каркаса, стен и перегородок.

# СПАСИБО!

[www.uscc.com.ua](http://www.uscc.com.ua) | +38-044-590-01-56

