

**Сравнительный анализ несущей способности
центрально сжатых элементов,
рассчитанных по СНиП II-23 и EN1993-1-1**

Рощин А.В.

(Научный руководитель – Жабинский А.Н.)

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Введение

Целью настоящей работы является сравнение несущей способности центрально-сжатого элемента, постоянного сечения при расчете на устойчивость по СНиП и EN.

Определение несущей способности центрально-сжатого элемента по СНиП II-23 [1]

Несущая способность центрально-сжатого элемента постоянного сечения, выполняется по формуле:

$$N = A \cdot \phi_{min} \cdot R_y \cdot \gamma_c,$$

где N – несущая способность стержня;

ϕ_{min} – минимальное значение коэффициента продольного изгиба, принимается в зависимости от λ_{max} и R_y (табл. 72 [1]);

R_y – расчетное сопротивление стали по пределу текучести;

γ_c – коэффициент условия работы, принимается по табл.6* [1];

Гибкость λ_{max} определяется по максимальному значению:

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x}; \lambda_y = \frac{l_y}{i_y};$$

Определение несущей способности по ТКП EN 1993-1-1 [2].

Несущая способность центрально-сжатого элемента, проверяется по формуле:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1.0,$$

где N_{Ed} — расчетное значение сжимающей силы;

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

В соответствии с [2], $N_{b,Rd}$ определяется:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \text{ — для поперечных сечений класса 1,2,3.}$$

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

где χ — понижающий коэффициент для соответствующей кривой потери устойчивости;

A_{eff} — эффективная площадь поперечного сечения;

f_y — предел текучести;

γ_{M1} — частный коэффициент безопасности при определении несущей способности элемента по устойчивости;

Для центрально сжатых элементов значение χ принимается в зависимости от условной гибкости $\bar{\lambda}$ по соответствующей кривой потери устойчивости (рисунок 1) или по формуле:

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

где

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

$\bar{\lambda}$ — условная гибкость:

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

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

α — коэффициент, учитывающий начальные несовершенства $\alpha=0,21$;

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

Коэффициент α , соответствующий определенной кривой потери устойчивости, принимается по таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициент, учитывающий начальные несовершенства для кривых потери устойчивости при центральном сжатии

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

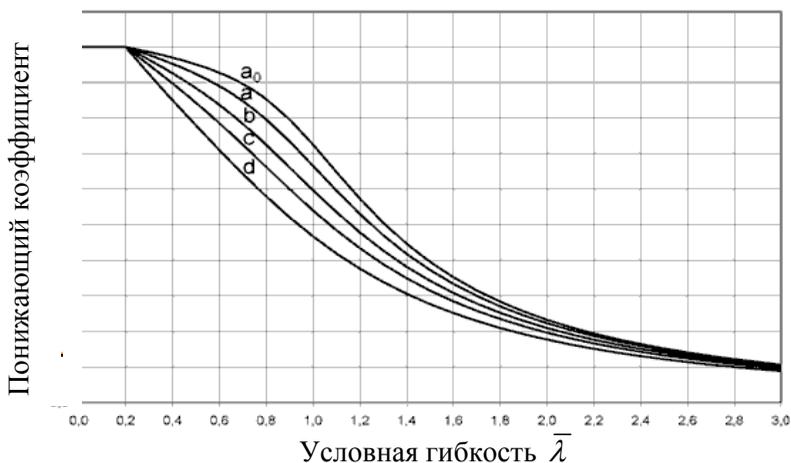


Рисунок 1 – Кривые потери устойчивости

Значение критической силы для стержня в упругой стадии работы при потере устойчивости определяется по формуле:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2}$$

Пример расчета.

Колонна высотой 8 м, сечение из двутавра 20Ш1. Сталь С235.

Расчетная схема см. рис. 2.

Расчет по СНиП II.23.81*

Для стали С235 по ГОСТ 27772 при толщине полки двутавра 9 мм $R_y = 230 \text{ МПа}$.

Расчетная длина в плоскости: $l_x = l = 800 \text{ см}$.

Расчетная длина из плоскости: $l_y = l/2 = 400 \text{ см}$.

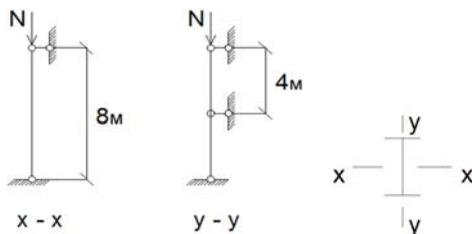


Рисунок 2 – Расчетная схема.

Геометрические характеристики сечения колонны приведены в таблице 1.

Таблица 2 – Геометрические характеристики двутавра 20Ш1

20Ш1	h	b	s	t	r1	A	I _y	i _x	i _y	I _x
	мм	мм	мм	мм	мм	см ²	см ⁴	мм	мм	см ⁴
	193,0	150,0	6,0	9,0	13,0	38,95	2660,0	82,6	36,1	507,0

Несущая способность колонны определяется по формуле:

$$[N] = \varphi_{min} \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c =$$

$$= 0,488 \cdot 38,95 \cdot 10^{-4} \cdot 230 \cdot 10^3 \cdot 0,95 = 415,3 \text{ кН}$$

где $\varphi_{min} = 0,488$, принимается по $\lambda_{max} = 110,8$ и $R_y = 230$ МПа по табл. 72[1].

Расчет по ТКП EN 1993-1-1

При толщине полки двутавра ($t = 9,0$ мм), значение предела текучести f_y для стали С 235, равно 235 Н/мм^2

Классификация поперечного сечения.

Полка колонны (табл. 5.2 [2]):

$$c_f = (b - t_w - 2 \cdot r) / 2 = 57,5 \text{ мм}$$

$$s = \sqrt{235 / f_y} = \sqrt{235 / 235} = 1$$

$$c_f / t_f = 6,39 < 9 \cdot s = 9$$

Полка относится к поперечному сечению класса 1.

Стенка колонны (табл. 5.2 [2]):

$$c_w = h - 2 \cdot c_f - 2 \cdot r = 150 \text{ мм}$$

$$c_w / t_w = 150 / 6 = 25 < 72 \cdot s = 72 \cdot 1 = 72$$

Стенка относится к поперечному сечению класса 1.

Сечение всей колонны относится к классу 1.

Определяем значение критической силы и условной гибкости при изгибной форме потери устойчивости.

Относительно оси (X – X). $L_x = 8 \text{ м}$;

$$N_{cr} = (\pi^2 \cdot 210000 \cdot 26600000) / (8000^2) = 860,6 \text{ кН}$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{3895 \cdot 235}{860,6 \cdot 10^8}} = 1,03$$

Относительно оси (Y - Y)/ L=4м;

$$N_{cr} = (\pi^2 \cdot 210000 \cdot 5070000) / (4000^2) = 656 \text{ кН}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{3895 \cdot 235}{656 \cdot 10^8}} = 1,18$$

Кривая устойчивости: x-x

$$\alpha = 0,21 \quad \Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 1,12$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,64$$

Определяем несущую способность колонны относительно оси x-

x

$$N_{bx,rd} = 0,64 \cdot 3895 \cdot 235 / 1 = 585,8 \text{ кН}$$

Кривая устойчивости: y-y

$$\alpha = 0,21$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 1,3$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,542$$

Определяем несущую способность колонны относительно оси y-

y

$$N_{by,rd} = 0,542 \cdot 3895 \cdot 235 / 1 = 496 \text{ кН}$$

Таким образом, несущая способность колонны, равна минимальному значению, при которой будет обеспечена устойчивость стержня

$$N_b = 496 \text{ кН.}$$

Был выполнен расчет колонны по ТКП EN НП (с Национальным приложением), в котором частный коэффициент безопасности $\gamma_{M1} = 1,025$ в соотв. с табл. (НП.2) национального приложения.

В таблице 3 приведены результаты расчета колонны по документам [1], [2], [3]. Расчет по документу [3] аналогичен [2], отличается значением $\gamma_{M1} = \gamma_{M1} / \gamma_{C1} = 1,025 / 0,95 = 1,079$.

Таблица 3 – Результат расчета.

Несущая способность	СНиП	ТКП EN	ТКП EN НП
	F, кН	F, кН	F, кН
по устойчивости	415	496	449
%	100	119,5	108,2

Выводы

Анализ расчета колонны показывает, что несущая способность колонны при расчете на устойчивость по документам [2] и [3] соответственно на 19.5% и 8.2% выше чем по документу [1].

Литература

4. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования.
5. EN 1993-1-1. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий.
6. ТКП EN 1993-1-1. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий.