

УДК 624.014.2

Теоретическое сравнение методик расчета общей устойчивости изгибаемых элементов по СНиП II-23 и ТКП ЕН 1993-1-1

Дударев В.А.

(Научный руководитель – Надольский В.В.)

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Введение

Целью настоящей работы является выявление особенностей проверки общей устойчивости изгибаемых элементов по ТКП ЕН 1993-1-5–2009 и сравнению со СНиП II-23–81*.

Методика расчёта общей устойчивости изгибаемых элементов по СНиП II-23–81*

При проверке общей устойчивости балки максимальное напряжение от изгиба сравнивается с критическим напряжением $\sigma_{\dot{c}} = M/W_x \leq \sigma_{cr}\gamma_c$. Умножим и разделив правую часть неравенства на R и введя обозначение

$$\varphi_b = \sigma_{cr}/R, \quad (1)$$

получим формулу для проверки общей устойчивости балки

$$\frac{M}{\varphi_b W_x} \leq R\gamma_c. \quad (2)$$

Параметр φ_b называется коэффициентом устойчивости балки. Его значение можно получить, используя выражение для критической силы,

$$\begin{aligned} \varphi_b &= \frac{\sigma_{cr}}{R} = \frac{M_{cr}}{R \cdot W_x} = \frac{k \cdot P_{cr} \cdot l \cdot h}{R \cdot I_x \cdot 2} = \\ &= \frac{c \cdot k \cdot h}{2 \cdot R \cdot l \cdot I_x} \sqrt{E \cdot I_y \cdot \left(G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{l^2} \right)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Умножив и разделив правую часть этого выражения на $Ehll_y$ и вынося за скобки GI_t , получим

$$\varphi_b = \psi \cdot \frac{I_y}{I_x} \cdot \left(\frac{h}{l}\right)^2 \cdot \frac{E}{R}, \quad (4)$$

где

$$\psi = \frac{c \cdot k \cdot t}{2 \cdot E \cdot h \cdot l \cdot I_y} \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot I_t \cdot (1 + \pi^2 / \alpha)}; \quad (5)$$

$$\alpha = l^2 \cdot G \cdot I_t / (E \cdot I_w). \quad (6)$$

Для стали соотношение между модулями упругости $G/E = 1/[2(1 + \nu)]$. Для прокатных двутавровых профилей $I_w \approx I_y \cdot h^2/4$.

С учётом этих значений последнее выражение будет иметь вид

$$\alpha \approx 1,54 \cdot \left(\frac{l}{h}\right)^2 \cdot \left(\frac{I_t}{I_y}\right). \quad (7)$$

При значении $\varphi_b > 0,85$ потеря устойчивости балок будет происходить при развитии в ней пластических деформаций. В этом случае нормы проектирования рекомендуют линейную зависимость $\varphi_b = 0,68 + 0,21\varphi_1$, где φ_1 вычисляется по формуле (4). При $\varphi_1 > 1,52 \cdot \varphi_b = 1$.

Для определения критических напряжений $\varphi_b \cdot R_y$ при потере устойчивости балок двутаврового сечения с двумя осями симметрии, изгибаемых в плоскости стенки, были использованы результаты работ С.П. Тимошенко, которые для практических расчетов представлены в СНиП II-23-81* в виде формул (34) и (174). Необходимо подчеркнуть, что в работе исследовались идеальные упругие балки. Для расчета реальных стальных балок в формуле (34) СНиП II-23-81* влияние начальных несовершенств (в частности, начального искривления оси балки в плоскости наименьшей жесткости) учтено при выводе формул для коэффициента ψ , а также введением коэффициента условий работы γ_c (см. поз. 4 табл. 6* СНиП II-23-81*).

Коэффициенты ψ в табл.77 СНиП II-23-81* приведены для случая шарнирного опирания в плоскости наименьшей жесткости и свободной деформации концов расчетного участка балки.

Методика расчёта общей устойчивости изгибаемых элементов по ТКП EN 1993-1-1–2009

Элемент, изгибаемый относительно главной оси и не раскреплённый из плоскости действия изгибающего момента, следует проверять на устойчивость плоской формы изгиба по формуле:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0, \quad (8)$$

где M_{Ed} – расчётное значение изгибающего момента;

$M_{b,Rd}$ – расчётное значение несущей способности изгибаемого элемента по устойчивости плоской формы изгиба:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}; \quad (9)$$

W_y – соответствующий момент сопротивления сечения, принимаемый следующим образом:

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

$W_y = W_{el,y}$ – для поперечных сечений класса 3;

$W_y = W_{eff,y}$ – для поперечных сечений класса 4;

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

Методы определения χ_{LT} :

- Общий метод;
- Для прокатных или эквивалентных сварных сечений.

При общем методе χ_{LT} определяется по формуле:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ но } \chi_{LT} \leq 1,0, \quad (10)$$

где
$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]; \quad (11)$$

α_{LT} – коэффициент, учитывающий начальные несовершенства

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}; \quad (12)$$

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

Выводы

– Теоретическая база в СНиПе и Еврокоде заложена очень близкая друг к другу, но Еврокод более новый документ, и поэтому в него внесены ряд дополнительных условий, которые позволяют проектировщику решать более разнообразные задачи. Еврокод позволяет учесть более разнообразные условия нагружения и виды эпюр, условия закрепления.

– Методика расчёта по EN более открыта для проектировщика в отличие от методики по СНиП (большинство параметров скрыто в таблицах).

– Различные способы учета потери местной устойчивости: в EN учет производится с помощью вычисления характеристик эффективного поперечного сечения, а в СНиПе выполняется отдельная проверка по исключению потери местной устойчивости.

Литература

1. ТКП EN 1993-1-1. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1: Общие правила и правила для зданий.
2. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*).
3. СНиП II-23-81* «Стальные конструкции».
4. «Металлические конструкции»: Общий курс: Учеб. для вузов / Г.С. Ведеников, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др.; Под ред. Г.С. Веденикова. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1998. – 760 с.: ил.
5. Strustural Steel and Timber. Topic 7. «Laterally unrestrained beams» / Prof DrShahrin Mohammad.