

Учет эффектов потери местной устойчивости от нормальных напряжений по ТКП ЕН 1993-1-5

Евса Е.В., Зубачева В.М.

(Научный руководитель – Надольский В.В.)

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

1 Введение

В статье рассматриваются правила учета потери устойчивости пластин от действия сжимающих нормальных напряжений при расчете по предельным состояниям по несущей способности согласно ТКП ЕН 1993-1-5.

2 Понятие эффективное поперечное сечение

Учет потери местной устойчивости пластин производится с использованием характеристик эффективной площади поперечного сечения.

Характеристики эффективного поперечного сечения конструкции, как правило, определяются по эффективным площадям сжатых элементов вследствие потери местной устойчивости и эффективным площадям растянутых элементов вследствие эффекта сдвигового запаздывания.

Эффективное сечение – участки сечения, для которых местная устойчивость обеспечена.

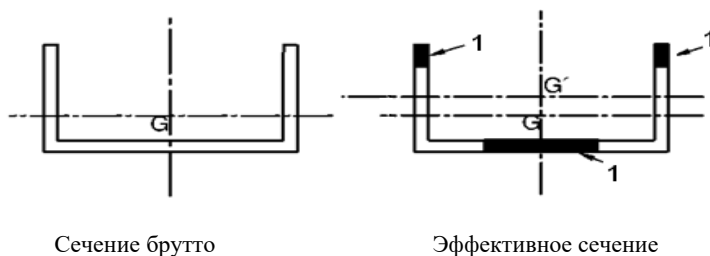


Рисунок 1 – Сечения класса 4 – воздействие осевых усилий
 G – центр тяжести сечения брутто; G' – центр тяжести эффективного сечения;
1 – неэффективные участки сечения

3 Определение эффективной площади пластинок без продольных элементов жесткости

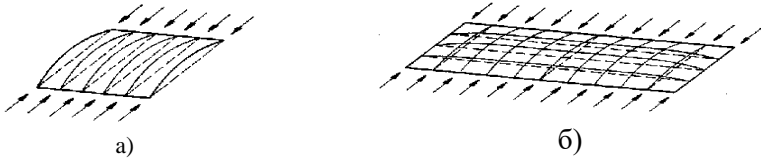


Рисунок 2: а – Выпучивание пластинки без закрепления по краям в продольном направлении; б – Выпучивание пластинки без элементов жесткости с закреплением по краям в продольном направлении с малым отношением размеров сторон

Эффективная площадь сжатых пластинок с двухсторонним закреплением по краям должны определяться, используя таблицу 4.1 [1], а для пластинок с односторонним закреплением (свесы листа) – таблицу 4.2 [1].

Эффективная площадь сжатой зоны пластины с поперечной площадью сечения брутто A_c определяется по формуле:

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c, \quad (1)$$

где ρ – понижающий коэффициент при потере устойчивости пластины. При этом ρ допускается принимать по формулам:

– для сжатой пластины с двухсторонним закреплением:

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

– для сжатой пластины с односторонним закреплением (свес листа):

$$\rho = 1 \text{ для } \bar{\lambda}_p \leq 0,748; \\ \rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ для } \bar{\lambda}_p > 0,748, \quad (3)$$

$$\text{где } \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}}{t} \sqrt{\frac{f_y}{28,4\varepsilon \cdot k_\sigma}};$$

ψ – отношение напряжений;

\bar{b} – расчетная ширина пластины;

k_σ – коэффициент, учитывающий потерю устойчивости в зависимости от отношения напряжений ψ по краям пластины и условий их закрепления. Для длинных пластин значения коэффициента k_σ указаны в таблице 4.1 или таблице 4.2 [1];

t – толщина пластины;

σ_{cr} – упругое критическое напряжение потери устойчивости.

4 Определение эффективной площади пластинок, усиленных продольными элементами жесткости

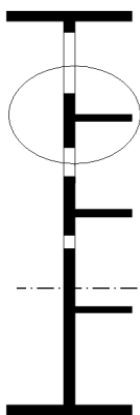


Рисунок 3

Для пластинок с продольными элементами жесткости эффективные площади, при местной потере устойчивости, учитываются для отдельных отсеков между элементами жесткости и эффективные площади усиленных панелей должны учитываться при проверке общей устойчивости.

Условная гибкость эквивалентной пластины определяется по формуле

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} f_y}{\sigma_{cr}}}, \quad (4)$$

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{c,eff.loc}}{A_c}. \quad (5)$$

Здесь упругое критическое напряжение потери устойчивости пластинки, вычислено основываясь на понятии эквивалентной ортотропной пластинки, то есть пластинке с размазанными элементами жесткости.

5 Работа пластинки по типу сжатого стержня

Упругое критическое напряжение потери устойчивости по типу сжатого стержня $\sigma_{cr,c}$ пластинки не усиленной элементами жесткости допускается определять по формуле:

$$\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 E t^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot a^2}. \quad (6)$$

Для пластины, усиленной элементами жесткости по краям панели с высоким уровнем напряжений сжатия

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{\pi^2 EI_{sl,1}}{A_{sl,1} a^2}, \quad (7)$$

где χ_c – понижающий коэффициент при потере устойчивости пластины по типу сжатого стержня; коэффициент χ_c определяют согласно [1] (6.3.1.2).

6 Связь между потерей устойчивости пластины и потерей устойчивости условного сжатого стержня

Реальное поведение пластины находится между двумя крайними ситуациями: поведение пластинки ρ и поведение пластины по типу сжатого стержня χ_c . Результирующий коэффициент редуцирования ρ_c определяется по простой интерполяционной формуле:

$$\rho_c = \xi(2 - \xi)(\rho - \chi_c) + \chi_c, \quad (8)$$

где $\xi = \sigma_{cr,p}/\sigma_{cr,p} - 1$.

Связь между потерей устойчивости пластинки и потерей устойчивости условного сжатого стержня изображена на рисунке 4.

После определения коэффициента понижения ρ_c , можно вычислить эффективную площадь сечения сжатой зоны укрепленной пластины

$$A_{c,eff} = \rho_c A_{c,eff,loc} + \Sigma b_{edge,eff}. \quad (9)$$

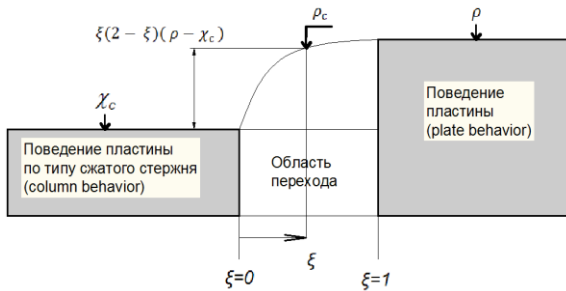


Рисунок 4 – Связь между потерей устойчивости пластины и потерей устойчивости условного сжатого стержня

Литература

1. ТКП EN 1993-1-5.(02250) Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-5: Пластинчатые элементы конструкций.
2. Commentary and worked examples to EN 1993-1-5, 2007г.