

УДК 624.014.2

**Особенности проверки местной устойчивости
по касательным напряжениям по ТКП EN 1993-1-5-2009**

Шарикова М.А.

(Научный руководитель – Надольский В.В.)

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

1 Введение

С января 2010г. в Республике Беларусь на альтернативной основе введены Технические кодексы установившейся практики по проектированию строительных конструкций, идентичные соответствующим Европейским нормам. Интересен вопрос анализа и сравнения методик расчета по различным нормативным документам. Большой интерес представляет расчет на местную устойчивость, в частности, проверка по касательным напряжениям по Европейским нормам. Целью настоящей работы является выявление особенностей и составление алгоритмов расчета по ТКП EN 1993-1-5-2009.

2 Краткая характеристика методики расчета на местную устойчивость по касательным напряжениям

В ТКП EN 1993-1-5 реализован метод, известный как «вращаемая область напряжения», основанный на принципе суперпозиции прочности до и после критического состояния при потере местной устойчивости от касательных напряжений.

После потери устойчивости стенки, сжимающие напряжения не могут больше увеличиться, в то время как растягивающие напряжения все еще могут увеличиваться, пока не достигнут временного сопротивления. При таких условиях равновесие требует «вращения области напряжения».

3 Определение несущей способности по ТКП EN 1993-1-5

Определение несущей способности на сдвиг осуществляется по формуле:

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}},$$

где $V_{bw,Rd}$ – составляющая несущей способности стенки;

$V_{bf,Rd}$ – составляющая несущей способности поясов;

f_{yw}, f_{yf} – расчетное сопротивление материала стенки и поясов соответственно;

η – коэффициент, который учитывает увеличение несущей способности на сдвиг: $\eta = 1,2$ для S235-460 и $\eta = 1,0$ для $> S460$.

Значение коэффициента η больше чем 1, подтверждаются в испытаниях на балках с коренастыми стенками, т.к. предельная несущая способность на сдвиг достигает 0,7 до 0,8 предела текучести при растяжении. Одна из причин для этого – упрочнение стали, которое может быть использовано, так как не возникает чрезмерных деформаций, т.е. присутствует стесненное развитие пластических деформаций. Другая причина – положительный эффект поясов на несущую способность стенки, но соответствующие вклады от упрочнения стали и от поясов не могут быть легко отделены, и этот эффект на сегодняшний день не был изучен подробно. Нет никаких результатов испытаний, подтверждающих этого увеличения для более высоких классов сталей, чем S460.

При выполнении следующих условий: $h_w / t \leq 72\varepsilon / \eta$ – для неукрепленных стенок, $h_w / t \leq 72\varepsilon \cdot \sqrt{k_\xi} / \eta$ – для поперечно укрепленных стенок местная устойчивость по касательным напряжениям считается обеспеченной.

3.1 Составляющая стенки

Определение несущей способности стенки на сдвиг осуществляется по формуле:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} .$$

Понижающий коэффициент χ_w несущей способности на сдвиг только стенки, зависящий от ее гибкости, приводится в таблице 1.

Вычисление значения условной гибкости стенки $\bar{\lambda}_w$ представлено на рисунке 1.

Могут быть использованы жесткие и гибкие ребра жесткости:

✓ ребра жесткости являются **жесткими**, когда они предотвращают поперечное перемещения стенки панели вдоль линии соединения стенка – ребро жесткости и остаются устойчивыми в закрытической стадии работы стенки;

✓ **гибкие** ребра жесткости увеличивают и несущую способность, и жесткость стенки, но они теряют устойчивость вместе с ней.

Таблица 1 – Несущая способность стенки на сдвиг

$\bar{\lambda}_w$	Жесткая опорная стойка	Гибкая опорная стойка
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

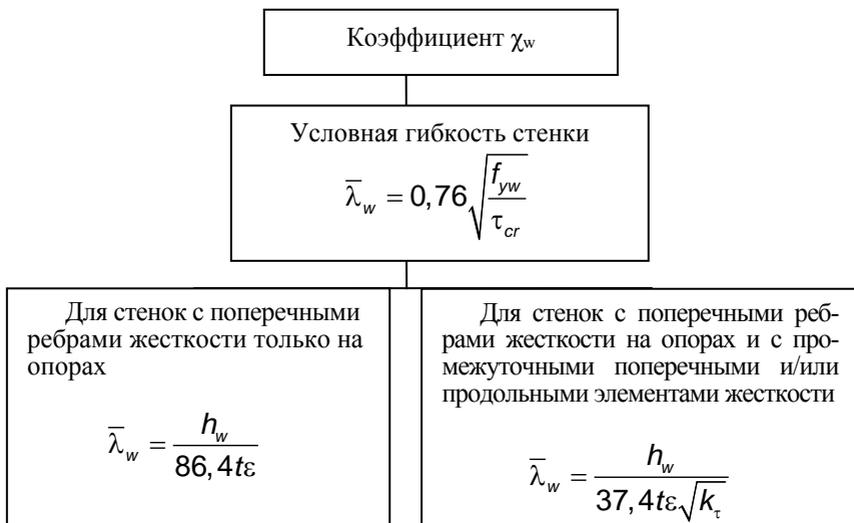


Рисунок 1 – Определение коэффициента χ_w

Значение коэффициента потери устойчивости при сдвиге k_τ вычисляется по Приложению А.3 ТКП ЕН 1993-1-5 для следующих двух основных случаев (рисунок 2):

- ✓ пластины с жесткими поперечными элементами жесткости;
- ✓ продольно укрепленные пластины между жесткими поперечными элементами жесткости.

Не предоставлено никакой информации для пластин, усиленных гибкими поперечными элементами жесткости.

Коэффициент потери устойчивости при сдвиге k_τ

Для пластин с жесткими поперечными
элементами жесткости и с продольными элементами

жесткости

$$k_\tau = 5,34 + 4,00(h_w/a)^2 + k_{\text{tsl}} \text{ при } a/h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34(h_w/a)^2 + k_{\text{tsl}} \text{ при } a/h_w < 1$$

$$k_{\text{tsl}} = 9 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{ \left(\frac{I_{\text{sl}}}{t^3 h_w} \right)^3 } \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{ \frac{I_{\text{sl}}}{h_w} }$$

Рисунок 2 – Определение коэффициента k_τ

3.2 Составляющая поясов

Определение несущей способности поясов на сдвиг осуществляется по формуле:

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{c \cdot \gamma_{M1}} \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right).$$

Расчетная модель определения составляющей несущей способности поясов на сдвиг представлена на рисунке 3.

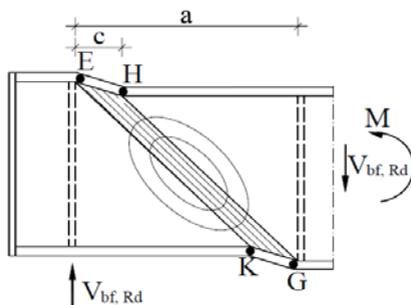


Рисунок 3 – Модель определения составляющей несущей способности поясов на сдвиг

Расстояние c может быть аппроксимировано следующей формулой:

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right).$$

Несущая способность на сдвиг $V_{bf,Rd}$, обеспеченная поясами, может быть вычислена на основании пластического механизма в поясах:

$$V_{bf,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,f,Rd}}{c} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{c \cdot \gamma_{M1}}.$$

Составляющая поясов может быть добавлена к несущей способности на сдвиг стенки панелей только, когда пояса не полностью используются по изгибающему моменту:

$$M_{Ed} \leq M_{f,Rd},$$

где $M_{f,Rd} = M_{f,k} / \gamma_{M0}$ – расчетное значение несущей способности поперечного сечения по изгибающему моменту при учете только эффективных поясов.

Согласно допущению, что изгибающему моменту M_{Ed} сопротивляются только пояса, влияние изгибающего момента, учитывается коэффициентом понижения:

$$\left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right).$$

При наличии продольного усилия N_{Ed} , которое, как предполагается, воспринимают только пояса, $M_{f,Rd}$ должен быть соответственно понижен коэффициентом:

$$\left(1 - \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_{yf} / \gamma_{M0}} \right).$$

Обычно составляющая поясов является малой величиной и может не учитываться. Она важна только, когда используются мощные пояса, которые полностью не используются по изгибающим моментам, что может иметь место в опорных сечениях.

3.3 Проверка несущей способности на сдвиг

Проверка несущей способности на сдвиг выполняется по следующему выражению:

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1,0 ,$$

где V_{Ed} – расчетное значение поперечной силы, включающее поперечную силу, вызванную возможным крутящим моментом.

3.4 Основные характеристики метода вращаемой области напряжения

✓ Метод применим для малых, а так же панелей сдвига с большим отношением сторон, что не имеет место для других моделей области растяжения, которые обычно дают хорошие результаты для коротких панелей и очень консервативные результаты для длинных.

✓ Метод применим не только для неукрепленных, но также и для поперечно и/или продольно укрепленных стенок.

✓ Помимо составляющей стенки также учитывается составляющая несущей способности на сдвиг поясов.

ЛИТЕРАТУРА

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