

Владыко А.И.

(Научные руководители – Надольский В.В., Лагун Ю.И.)

Белорусский национальный технический университет,

Минск, Беларусь

Введение

Целью настоящей работы является изложить методику расчёта поперечной рамы по ТКП EN 1993-1-1-2009.

Влияние деформированной геометрии конструкции

Согласно п. 5.2.1 ТКП EN различают два вида расчёта:

- расчет по теории первого порядка, использующего начальную геометрию конструкции;
- расчет по теории второго порядка, учитывающего влияние деформаций конструкции.

Расчет по теории первого порядка может применяться для конструкции, если увеличением соответствующих внутренних сил или моментов или любым другим изменением работы конструкции, вызванными деформациями, можно пренебречь. Это условие считается выполненным, если соблюдается следующий критерий:

- для расчёта в упругой стадии:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{Ed}}{F_{cr}} \geq 10 \quad (1)$$

- для расчёта в пластической стадии:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{Ed}}{F_{cr}} \geq 15 \quad (2)$$

где α_{cr} – коэффициент увеличения расчётной нагрузки, при котором будет достигнуто неустойчивое состояние при статическом расчёте;

F_{Ed} – расчётная действующая нагрузка на конструкцию;

F_{cr} – критическая нагрузка при потере общей устойчивости в упругой стадии, определённая на основе начальных упругих жесткостей;

В случае значительного влияния деформации на конструкцию, согласно п. 5.2.2 ТКП EN его учёт может быть выполнен следующими методами:

с помощью статического расчёта, с использованием «коэффициента поперечного отклонения»;

частично с помощью статического расчёта и частично с помощью проверки устойчивости отдельных элементов, «итерационный метод»;

для основных видов напряжённо деформированного состояния – проверкой устойчивости отдельных элементов, с использованием расчётных длин, соответствующих форме общей потери устойчивости конструкции.

Расчёт первого порядка с использованием коэффициента поперечного отклонения учитывает только эффекты второго рода, которые возникают при поперечном отклонении конструкции. Для одноэтажных рам данный метод применим при малых уклонах кровли, если осевое сжатие в ригелях не существенно и при $\alpha_{cr} \geq 3.0$. Расчёт по данному методу выполняется в следующем порядке: производится упругий статический расчет первого порядка на внешние вертикальные нагрузки и увеличенные горизонтальные нагрузки путем умножения на коэффициент поперечного отклонения. При этом горизонтальные нагрузки могут представлять собой как внешние горизонтальные нагрузки H_{Ed} (например, ветровые), так и эквивалентные нагрузки $V_{Ed} \cdot \phi$, обусловленные несовершенствами конструкции (несовершенства рассмотрены ниже).

Коэффициент поперечного отклонения определяется по формуле:

$$\frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} \quad (3)$$

Расчёт первого порядка с использованием итерационного метода. Общий порядок расчета по данному методу может быть пред-

ставлен следующим образом. Вначале выполняется упругий статический расчет первого порядка со всеми нагрузками ($V + H$) и, если необходимо, учитывая эквивалентные нагрузки ($\phi_{init}V$), заменяющие начальные несовершенства поперечного отклонения. (ϕ_{init} – начальное поперечное отклонение). Из этого расчета получают значения угла поперечного отклонения ϕ_i каждого сжатого элемента и внутренние усилия, согласно рисунку 1:

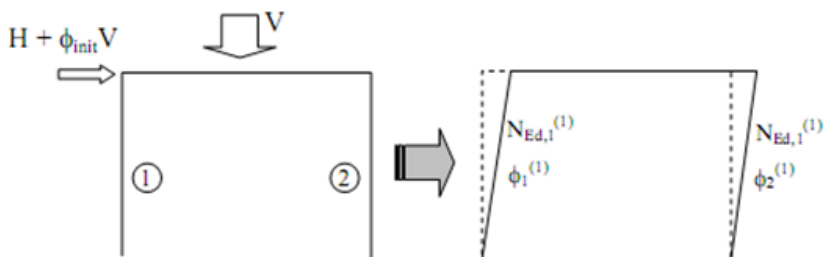


Рисунок 1 – Первая итерация расчёта

На второй итерации поперечное отклонение ϕ_i для каждого сжатого элемента, заменяется парой эквивалентных сил $\phi_i \cdot N_{Ed,i}$ и выполняется упругий статический расчет первого порядка на те же нагрузки, но с учетом дополнительных сил $\phi_i \cdot N_{Ed,i}$ ($N_{Ed,i}$ – продольная сила), приложенных по концам каждого сжатого элемента. На основании этого расчета уточняются значения внутренних усилий и угол поперечного отклонения ϕ_i для каждого сжатого элемента рамы, согласно рисунку 2:

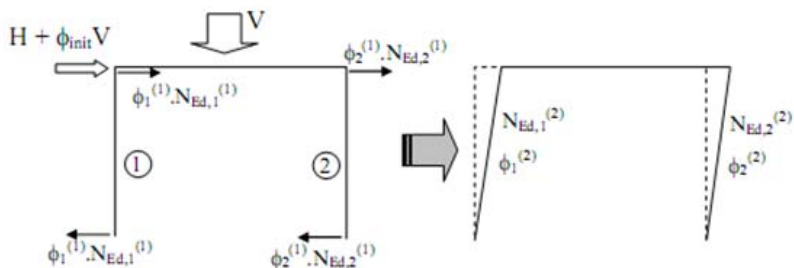


Рисунок 2 – Вторая итерация расчёта

Если сходимость значений перемещений и внутренних усилий не достигнута, то переходят к следующей итерации.

В общем случае достаточно 3 итерации для достижения весьма приемлемой сходимости. В конце процесса внутренние силы и моменты, а также смещения можно рассматривать как полученные расчетом второго порядка, т.е. расчетом по деформированной расчетной схеме.

Расчет первого порядка с использованием расчетной длины (метод эквивалентной колонны) выполняется по недеформируемой расчетной схеме и без учета несовершенств. Последние учтены в расчетных формулах проверки устойчивости отдельных элементов конструктивной схемы.

Значения расчетных длин устанавливаются исходя из формы общей потери устойчивости рамы с учетом жесткостей элементов и соединений, наличия пластических шарниров и распределение сжимающих усилий при действии распределенных нагрузок.

Учёт несовершенств

В реальных конструкциях всегда присутствуют начальные несовершенства, включая остаточные напряжения и геометрические несовершенства, такие как отклонение от вертикали, прямолинейности, плоскопараллельности, отсутствие пригонки и любой незначительный эксцентриситет в соединениях ненагруженной конструкции. Поэтому согласно п. 5.3.1 ТКП EN для учета их влияния в расчетные формулы должны быть введены соответствующие корректировки или они должны быть учтены при статическом расчёте.

При расчете рам, чувствительных к потере устойчивости, сопровождаемой поперечным отклонением, эффект несовершенств согласно п. 5.3.2 учитывается посредством расчета рамы с эквивалентным несовершенством в виде начального поперечного отклонения ϕ_i и местных изгибных отклонений элементов δ .

Начальные поперечные отклонения следует рассматривать в любом горизонтальном направлении, но одновременно учитывается только одно из направлений. В многоэтажных балочно-стоечных каркасах здания эквивалентные силы следует прикладывать на уровне каждого этажа и в уровне покрытия. Также подлежат рассмотрению возможные эффекты закручивания конструкции, вы-

званные асимметричными поперечными отклонениями двух противоположных граней.

Литература

1. ТКП EN 1993-1-1. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий