

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ВНЕЦЕНТРЕННО-СЖАТЫХ  
ПЕРФОРИРОВАННЫХ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ИХ РАБОТЕ  
В СОСТАВЕ РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Фоменко Е.Ю.**

**Научный руководитель – профессор Енджиевский Л.В.**

***Сибирский федеральный университет***

Достаточно широкое применение в строительстве в нашей стране и за рубежом находят стальные перфорированные элементы: балки, арки, фермы, колонны, рамы и т.д. Перфорированные стержни обладают многими достоинствами: легкостью, экономичностью, повышенными жесткостью и несущей способностью, технологичностью изготовления, транспортабельностью, хорошими эксплуатационными качествами.

В предлагаемой работе рассматривается устойчивость внецентренно-сжатых перфорированных стальных элементов при их работе в составе однопролетных двухшарнирных рам:

- с шарнирным опиранием на фундаменты и жестким сопряжением ригеля со стойками;
- с шарнирным опиранием ригеля на стойки и жестким защемлением последних в фундаменты.

Данное исследование учитывает проведенные ранее расчёты:

- статический расчет влияния плоской рамы на действие расчетных нагрузок;
- расчет влияния плоской рамы на устойчивость первого рода.

Так же было учтено, что жесткость ригелей на изгибе во много раз больше, чем стоек.

В результате таких допущений коэффициент расчетной длины стоек в плоскости рамы равен двум, а из плоскости рамы равен единице.

При расчете устойчивости по общепринятой методике расчетная длина стоек в плоскости рамы в два раза больше, чем расчетная длина плоскости рамы (для рассматриваемых случаев). Геометрические длины в обеих плоскостях одинаковы.

Такой способ эффективен подходит при расчете на устойчивость сплошностенчатых стержней. Перфорированные стержни имеют конкретное расположение отверстий перфорации, и поэтому использование расчетных длин будет давать большие погрешности в результатах расчетов.

В связи с этим предлагается использовать эквивалентное расчетной длине закрепление стержня по торцам:

- в плоскости рамы жесткое защемление нижнего торца стойки и свободное опирание верхнего торца;
- из плоскости рамы шарнирное закрепление по обоим торцам.

По торцам невозможны повороты стержня вокруг своей оси, а также отсутствуют деформации.

В качестве примеров рассматриваются сплошностенчатая (прокатный двутавр 14С по ГОСТ 19425-74\*) и перфорированная из того же двутавра стойки (рис. 1) при эксцентриситетах приложения нагрузки в плоскости стенки 9,46 см.

Исследовалась потеря устойчивости внецентренно-сжатых элементов как в плоскости действия момента (плоская форма потери устойчивости), так и из плоскости действия момента (изгибно-крутильная форма потери устойчивости) с учетом физической и геометрической нелинейностей, а также начального искривления стоек по дуге окружности с  $f = L/750$ .

Анализ устойчивости конструкций с учетом обеих нелинейностей в программном комплексе ANSYS производится в два этапа:

- путем линейного статического расчета получаем начальное искривление объемной модели в виде дуги окружности;
- далее, прикладывая нагрузку большую, чем критическая при центральном сжатии, проводим нелинейный расчет.

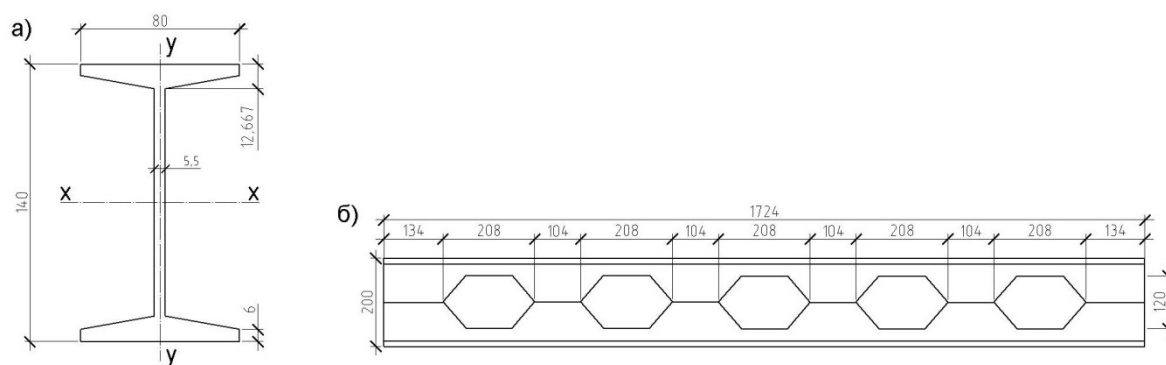


Рис. 1. Геометрические параметры исходного и перфорированного элементов

а – поперечное сечение прокатного двутавра; б – перфорированная стойка

Конечно-элементная разбивка была произведена восьмью узловыми призматическими элементами SOLID45.

Материал – сталь марки Ст.3 со следующими характеристиками: модуль упругости  $E = 2,05 \cdot 10^5$  МПа; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ; предел пропорциональности  $\sigma_{пр} = 239$  МПа; относительное удлинение, соответствующее пределу пропорциональности  $\varepsilon_{пр} = 1,1658 \cdot 10^{-3}$ ; средний предел текучести  $\sigma_T = 282$  МПа; относительное удлинение, соответствующее началу площадки текучести  $\varepsilon_T = 2,5 \cdot 10^{-3}$ .

В программном комплексе использовалась полилинейная диаграмма работы стали. Точки для задания криволинейного участка рассчитывались из уравнения эллипса (табл. 1). Далее диаграмма подобна идеальной – Прандтля.

Таблица 1

$\sigma$ , МПа	239	249	259	269	275	278	280	281	282
$\varepsilon \cdot 10^{-3}$	1,1658	1,2456	1,3832	1,6111	1,827	1,9836	2,13125	2,238	2,5

Результаты расчетов исходных и перфорированных стоек приведены в табл. 2.

Таблица 2

Форма потери устойчивости	Значение критической силы, кН		$\frac{N_{\text{перфорированная}}}{N_{\text{исходная}}}$
	исходная стойка	перфорированная стойка	
Изгибно-крутильная	169,886	198,48	1,1683
Изгибная в плоскости стенки	194,43	233,314	1,1999

Разница между критическими силами, соответствующими изгибно-крутильной форме потери устойчивости, в перфорированном и исходном элементах достигает 16,8%. Разница между критическими силами, соответствующими изгибной в плоскости стенки форме потери устойчивости, в перфорированном и исходном элементах достигает 20%.

Из сравнения результатов расчетов видно, что перфорированный элемент обладает большей несущей способностью по сравнению с исходным.