

## ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ

А.А. Мазов, В.Е. Буланов

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, доцент П.В. Монастырев

**Ключевые слова и фразы:** пластическое деформирование; ступенчатые стержни; теоретический метод; эксперимент.

**Аннотация:** Рассмотрен вопрос о деформациях стальных внецентренно-сжатых ступенчатых стержней. Описаны теоретический метод и результаты эксперимента.

СНиП II-23-81\* [1] допускает пластическое деформирование внецентренно-сжатых стальных стержней при изгибе в плоскости действия момента, но не содержит рекомендаций по определению упругопластических прогибов. Рассмотрим метод оценки прогибов и деформаций элементов переменной жесткости.

Принимается расчетная схема с шарнирным закреплением стержня по его концам (рис. 1); жесткость консолей считается бесконечной; на опорах сжимающая нагрузка прикладывается с эксцентриситетом; рассматривается симметричное двутавровое сечение; перемещения считаются достаточно малыми и определяются с помощью интегралов Мора [2]; используется

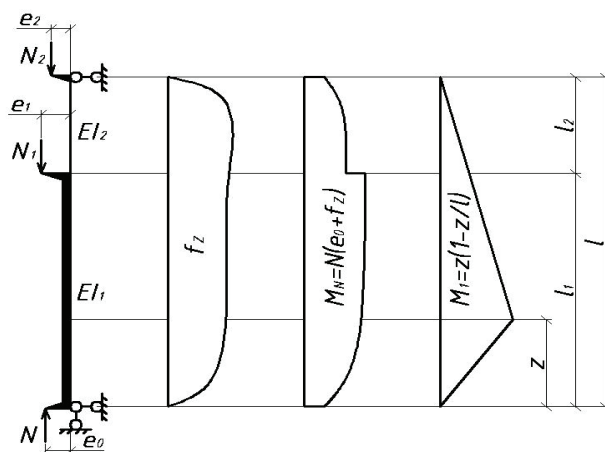


Рис. 1. Расчетная схема стержня: эпюры прогибов, грузовых и единичных моментов

Мазов А.А. – аспирант кафедры «Прикладная механика и сопротивление материалов»; Буланов В.Е. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная механика и сопротивление материалов», e-mail: soprm@soprm.nnn.tstu.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов.

гипотеза плоских сечений; применяется диаграмма работы стали с эллиптическим участком между пределом пропорциональности и пределом текучести.

При наличии в сечении только упругих деформаций краевые напряжения определяются по формулам:

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{N_e}{W} \leq \sigma_{\text{п}}; \quad \sigma_2 = \frac{N}{A} - \frac{N_e}{W}.$$

При неупругих деформациях составляются условия равновесия сил и моментов. Получается система двух уравнений с двумя неизвестными – краевыми напряжениями или деформациями  $\bar{\varepsilon}_1$  и  $\bar{\varepsilon}_2$ .

При односторонней текучести (рис. 2, а):

$$\begin{cases} \bar{\sigma}_0(2\beta + 1) = (\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2)\beta + \bar{\sigma}_\tau \bar{c} + \frac{\bar{\sigma}_\text{п} + \bar{\sigma}_2}{2} \bar{a} + G_1; \\ \bar{\sigma}_0(2\beta + 1) = \left[ \bar{\sigma}_1\beta + \bar{\sigma}_\tau \bar{c} \left(1 - \frac{\bar{c}}{2}\right) + \frac{2\bar{\sigma}_\text{п} + \bar{\sigma}_2}{6} \bar{a}^2 + G_2 \right] / \left( \frac{e_x}{h} + \frac{1}{2} \right), \end{cases}$$

где  $\beta = \frac{A_f}{A_w}$ ,  $G_1 = \int_{\bar{a}}^{1-\bar{c}} \bar{\sigma}_g d\bar{g}$ ,  $G_2 = \int_{\bar{a}}^{1-\bar{c}} \bar{\sigma}_g \bar{g} d\bar{g}$ ,  $\bar{a} = a/h$ ,  $\bar{c} = c/h$ ,  $\bar{g} = g/h$  и  $g$  – координаты волокон, в случае, если деформации превышают  $\varepsilon_{\text{п}}$  – деформации, соответствующие пределу пропорциональности, но не достигают  $\varepsilon_{\text{т}}$  – деформации, соответствующие пределу текучести.

При двухсторонней текучести (рис. 2, б):

$$\begin{cases} \bar{\sigma}_0(2\beta + 1) = \bar{\sigma}_\tau (\bar{c}_1 - \bar{c}_2) + G_1; \\ \bar{\sigma}_0(2\beta + 1) = \bar{\sigma}_\tau \left( \left[ \beta + \bar{c}_1 \left( \bar{z}_1 - \frac{\bar{c}_1}{2} \right) + \bar{c}_2 \left( \bar{z}_2 - \frac{\bar{c}_2}{2} \right) \right] + \frac{2}{3} \bar{\sigma}_\text{п} \bar{a}^2 + G_2 \right) / \left( \frac{e_x}{h} + \bar{d} \right), \end{cases}$$

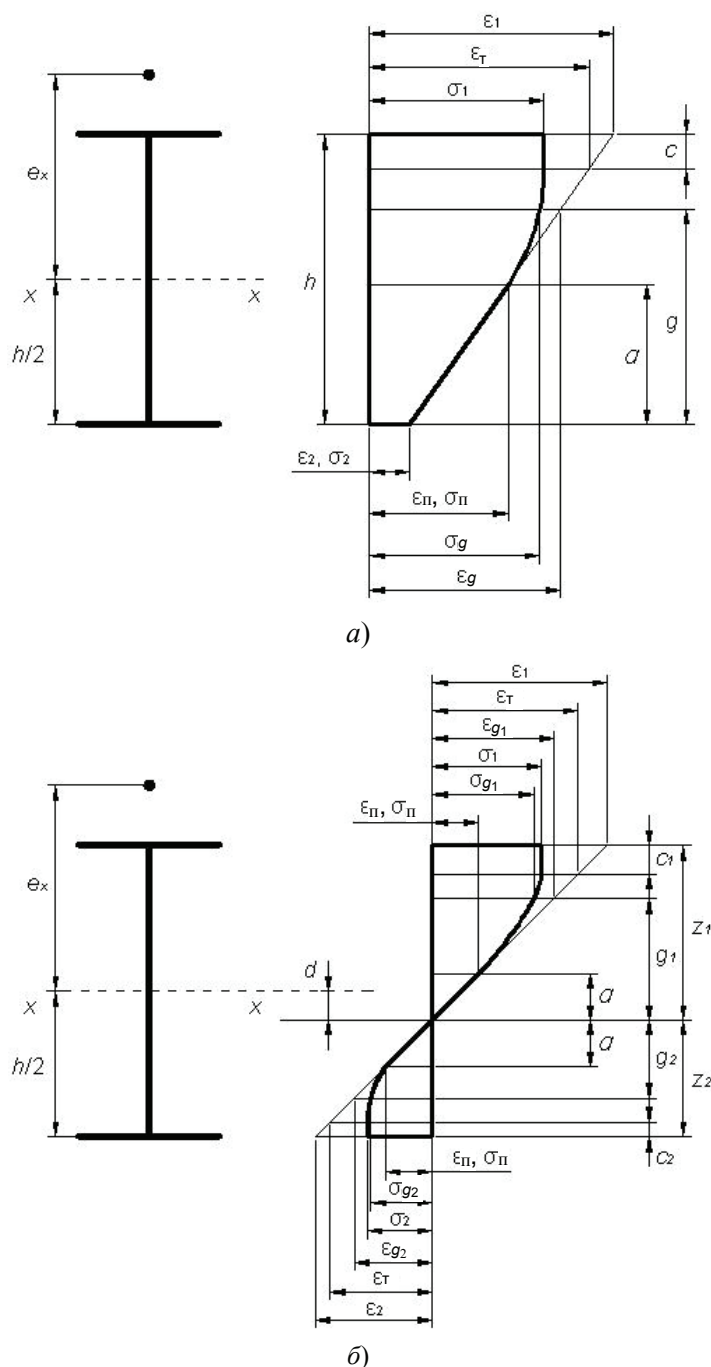
где  $\bar{z}_1 = z_1/h$ ,  $\bar{z}_2 = z_2/h$ ,  $\bar{c}_1 = c_1/h$ ,  $\bar{c}_2 = c_2/h$ ,  $\bar{a} = a/h$ ,  $\bar{g}_1 = g_1/h$ ,  $G_1 = \int_{\bar{a}}^{1-\bar{c}_1} \bar{\sigma}_{g_1} d\bar{g}_1 - \int_{\bar{a}}^{1-\bar{c}_2} \bar{\sigma}_{g_2} d\bar{g}_2$ ,  $G_2 = \int_{\bar{a}}^{1-\bar{c}_1} \bar{\sigma}_{g_1} \bar{g}_1 d\bar{g}_1 + \int_{\bar{a}}^{1-\bar{c}_2} \bar{\sigma}_{g_2} \bar{g}_2 d\bar{g}_2$ ,  $\bar{d} = d/h$ ,  $\bar{g}_2 = g_2/h$ ,  $g_1$  и  $g_2$  – координаты волокон с деформациями между пределами пропорциональности и текучести.

Протяженность упругой зоны  $a$ , размеры зон пластических деформаций  $c$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  и координаты нейтральной линии  $z_1$ ,  $z_2$  определяем из подобия треугольников на эпюрах деформаций.

Разработана программа для решения систем уравнений численным методом.

Метод был проверен испытаниями сварных двутавровых стержней внецентренным сжатием с различными эксцентриситетами (таблица). Исследования показали высокую сходимость теоретических результатов и опытных данных.

Значения упругих и пластических деформаций практически совпадают (разница нагрузок не превысила 2 %). Однако при напряжениях между пределами пропорциональности и текучести несоответствие составляет 8...10 % предположительно из-за отличия принятой и классической диаграмм работы пластичного материала.



**Рис. 2. Эпюры деформаций и напряжений:**  
*a* – при односторонней текучести; *б* – при двухсторонней текучести

Предлагаемый метод может быть рекомендован к использованию для оценки несущей способности внецентренно-сжатых ступенчатых стержневых зданий и сооружений в процессе проектирования и реконструкции. Он позволяет производить прямой расчет стержневой переменной жесткости по деформированной схеме. При этом отпадает необходимость их расчленения

## Сравнение экспериментальных и теоретических данных

Нагрузка, кН	Деформации				Прогибы			
	экспериментальные, мм	теоретические, мм	Погрешность		экспериментальные, мм	теоретические, мм	Погрешность	
			абсолютная, мм	%			абсолютная, мм	%
10	0,072	0,079	10	0,072	0,079	10	0,072	0,079
20	0,152	0,160	20	0,152	0,160	20	0,152	0,160
30	0,238	0,243	30	0,238	0,243	30	0,238	0,243
40	0,326	0,328	40	0,326	0,328	40	0,326	0,328
50	0,412	0,416	50	0,412	0,416	50	0,412	0,416
60	0,503	0,506	60	0,503	0,506	60	0,503	0,506
70	0,599	0,599	70	0,599	0,599	70	0,599	0,599
80	0,700	0,694	80	0,700	0,694	80	0,700	0,694
90	0,811	0,792	90	0,811	0,792	90	0,811	0,792
100	1,030	0,939	100	1,030	0,939	100	1,030	0,939

на отдельные составляющие с постоянной жесткостью. Во многих случаях становится ненужной существующая методика проверки устойчивости, так как будет достаточно определить деформации и прогибы в различных точках и сравнить их с предельными значениями.

### *Список литературы*

1. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции. – Введ. 1982–01–01. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
2. Васильков, Ф.В. О прогибах и пластическом деформировании стальных внецентренно-сжатых стержней / Ф. В. Васильков, В.Е. Буланов // Изв. вузов. Стр-во. – 1999. – № 1. – С. 4–6.

## **Plastic Deformation of Steel Cores of Variable Rigidity**

**A.A. Mazov, V.E. Bulanov**

*Tambov State Technical University*

**Key words and phrases:** experiment; plastic deformation; step cores; theoretical method.

**Abstract:** The issue of deformations of steel eccentric compressed step cores is considered. The theoretical method and results of experiment is described.

© А.А. Мазов, В.Е. Буланов, 2010