

СРАВНЕНИЕ ПЛАСТИНЧАТОЙ И СТЕРЖНЕВОЙ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛЕЙ СВАРНОЙ ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ

Гордеевцева А.М., Хазов П.А.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, г.Нижний Новгород

Ключевые слова: балка, расчетные модели, сравнение, SCAD, расчет напряжения.

Аннотация. В статье рассматривается модель двутавровой сварной балки, сравнение её расчета с помощью формул сопромата и ПК SCAD.

COMPARISON OF PLATE AND ROD CALCULATION MODELS OF THE WELDED DOUBLE BELT

Gordeevtseva A.M., Khazov P.A.

Nizhny Novgorod state university of architecture and civil engineering, Nizhny Novgorod

Keywords: beam, computational models, comparison, SCAD, stress calculation.

Abstract. The article considers a model of an I-beam welded beam, comparing its calculation with the help of the strength of matter formula and PVC SCAD.

Двутавровая балка один из самых распространённых конструкций в строительстве как жилых, так и промышленных зданий. Её используют для укрепления перекрытий, кровель и для возведения строительных стальных площадок, цехов.

Балки используют в перекрытиях и покрытиях зданий для устройства крановых путей и прочее [1]. Она представляет собой стержень, хорошо работающий на изгиб. Балки разделяются на два типа: сварные (рис. 1, б) и горячекатаные (рис. 1, а).

Горячекатаные стальные балки производят методом проката горячей заготовки. Сварные двутавровые стальные балки производятся с применением специального оборудования.

Касаясь геометрических параметров, существует сортамент прокатной стали. Прокатные двутавры практически всегда можно заменить соответствующими сварными. Производят балки абсолютно разного сечения, переменной высоты, разной толщины стенки, полки, не теряя несущую способность, надежность.

В данной статье рассматриваются расчетные модели двутавровой балки (рис. 2), длиной 9 м, находящиеся под действием равномерно распределенной нагрузки 10 кН/м. Материал балки – сталь 245.

При этом производится сравнение напряжений, полученных в результате расчета стержневой и пластинчатой конечных элементов модели.

Определяем необходимые характеристики сечения балки. Требуемый момент сопротивления сечения балки по условиям прочности при изгибе:

$$W_{x,mp} = \frac{M_{max}}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{101,3 \text{ кНм} \cdot 10^2}{24 \cdot 0,95} = 444,298 \text{ см}^2,$$

где $R_y = 24 \text{ кН/см}^2$ для поясных листов, с $\gamma_c = 1$ по таблице 1 СП 16.13330.2011.

Требуемый момент инерции сечения по условиям жесткости, определяемый величиной предельно-допустимого прогиба балки [2]

$$J_x^{mp} = \frac{5 \cdot 0,7 \cdot 10 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 900^4}{384 \cdot 2,06 \cdot 10^4 \cdot 3,6} = 806,572 \text{ см}^4.$$

Принимаем предельную по требованиям местной устойчивости стенки условную ее гибкость $\lambda_w^{ycl} = 5$ и определяем соответствующее ей отношение $(h_w/t_w)_u = \lambda_{wu}$.

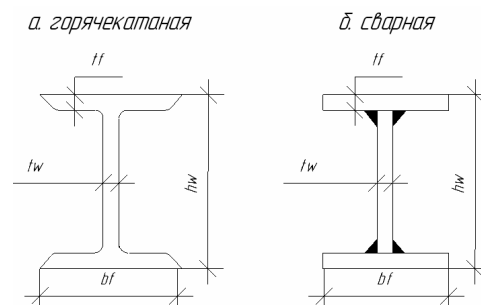


Рис. 1. Конструктивный чертеж сечения сварной и горячекатаной балки

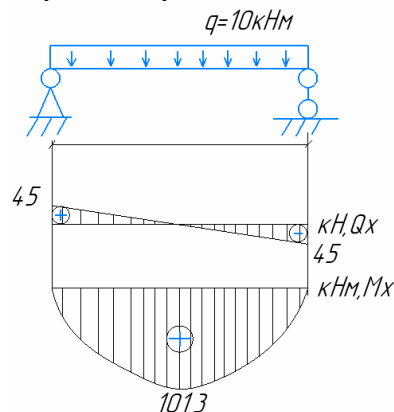


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов расчетной схемы

$$\lambda_{wu} = (h_w/t_w)_u = \lambda_w^{ycl} \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 5 \cdot \sqrt{\frac{20600}{24}} = 146,49,$$

где $R_y = 24 \text{ кН/см}^2$ для стенки балки.

Для определения направления оптимизации сечения - по условиям прочности или жесткости, вычислим минимальные необходимые площади сечения балки:

$$A_{\min}^w = 2,621 \cdot \sqrt{\frac{W_{x,mp}^2}{\lambda_{wu}}} = 2,621 \cdot \sqrt{\frac{444,298^2}{146,49}} = 28,95 \text{ см}^2;$$

$$A_{\min}^J = 3,266 \cdot \sqrt{\frac{J_{x,mp}}{\lambda_{wu}}} = 6,266 \cdot \sqrt{\frac{8063,752}{146,49}} = 24 \text{ см}^2.$$

Поскольку $A_{\min}^w > A_{\min}^J$, далее конструирование сечения ведем по условиям прочности.

Оптимальная высота сечения стенки по условиям прочности [2]:

$$h_{opt}^w = 1,145 \cdot \sqrt[3]{W_{x,mp} \cdot \lambda_u} = 1,145 \cdot \sqrt[3]{444,298 \cdot 146,49} = 46,06 \text{ см}.$$

Принимаем высоту стенки $h_w = 45 \text{ см}$.

Толщина стенки $t_w = h_w / \lambda_{wu} = 45 / 146,49 = 0,31 \text{ см}$

Принимаем $t_w = 6 \text{ мм}$.

Требуемая площадь сечения одного поясного листа по условию прочности:

$$A_{f,mp}^w = \left(\frac{W_{x,mp} \cdot h_w}{2} - \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} \right) \frac{2}{h_w^2} = \left(\frac{444,298 \cdot 45}{2} - \frac{0,6 \cdot 45^3}{12} \right) \frac{2}{45^2} = 5,37 \text{ см}^2.$$

При этом должны выполняться условия:

$$b_f = \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{5} \right) \cdot h_w = \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{5} \right) \cdot 45 \approx 15 - 9 \text{ см};$$

$t_f \leq 3 \cdot t_w = 3 \cdot 0,6 = 1,8 \text{ см}$ для снижения сварочных напряжений в поясных швах;

$$b_f/t_f \leq \sqrt{\frac{E}{R_y}} = \sqrt{\frac{20600}{24}} = 29,297 \text{ для обеспечения местной устойчивости сжатого пояса.}$$

Соответственно этому принимаем $b_f = 9 \text{ см}$; $t_f = 0,7 \text{ см}$; $h_w = 45 \text{ см}$; $t_w = 0,6 \text{ см}$ (рис. 3).

Для принятого сечения балки вычисляем геометрические характеристики.

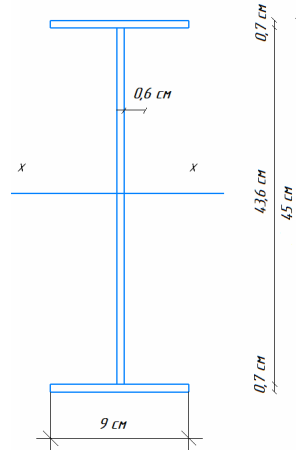


Рис. 3. Геометрические характеристики расчетной модели

$$J_x = \frac{t_w h_w^3}{12} + 2b_f t_f \left(\frac{h_w + t_f}{2} \right)^2 = \frac{1 \cdot 45^3}{12} + 2 \cdot 9 \cdot 0,7 \left(\frac{45 + 0,7}{2} \right)^2 = 11134,99 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления:

$$W_x = \frac{J_x}{(h_w + 2t_f) \cdot 0,5} = \frac{11134,99}{(45 + 2 \cdot 0,7) \cdot 0,5} = 479,97 \text{ см}^3 > W_{x,mp} = 444,298 \text{ см}^3.$$

Принятое сечение сварной главной балки проверяем:

а) на прочность в сечении на $0,5 \cdot L$ при действии $M_{\max} = 101,25 \cdot 10^2 \text{ кН} \cdot \text{см}$,

$$M_{\max} = 101,25 \cdot 10^2 \text{ кН} \cdot \text{см} < R_y \cdot W_x \cdot \gamma_c = 24 \cdot 1 \cdot 479,97 \cdot 10^2 \text{ кН} \cdot \text{см},$$

б) на жесткость по второй группе предельных состояний:

$$f = \frac{5 \cdot 0,7 \cdot \vartheta_n \cdot \gamma_n \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot J_x} = \frac{5 \cdot 0,7 \cdot 10 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 900^4}{384 \cdot 20600 \cdot 11134,99} = 2,6 \text{ см} < f_u = 3,6 \text{ см},$$

$$G_{\max} = \frac{M_{\max}}{w} = \frac{101,25 \cdot 10^2}{479,97} = 21,095 \text{ кН/см}^2.$$

Сечение экономично и удовлетворяет требованиям прочности и жесткости.

Далее проектируем подобранную двутавровую балку в ПК Structure SCAD с помощью метода конечных элементов (рис. 4).

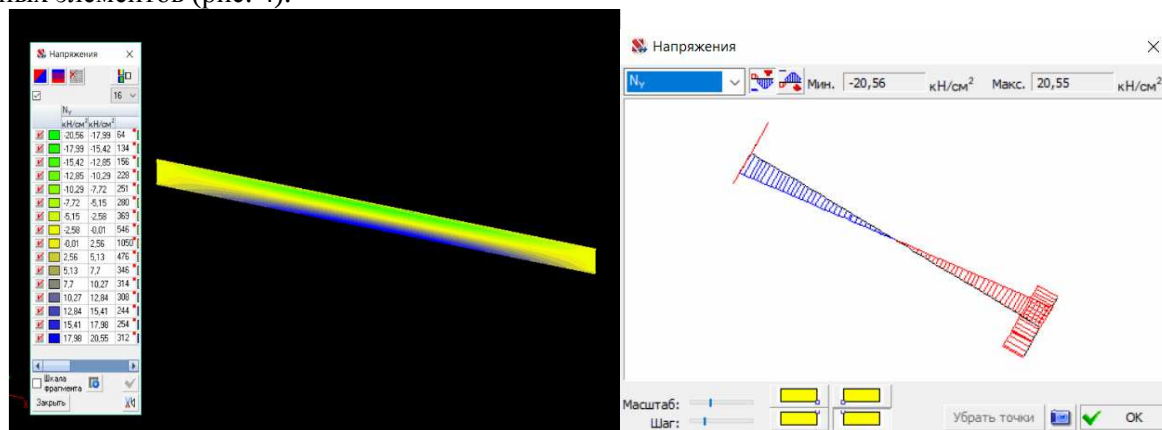


Рис. 4. Расчет напряжений в модели SCAD

Максимальное напряжение $\sigma_{\max} = 20,55 \text{ кН/см}^2$.

По результатам расчетов видно, что максимальные напряжения, определенные по классическим методикам сопротивления материалов, практически совпадают ($\pm 2,5\%$) с аналогичным напряжением, определенным при расчете методом конечных элементов.

Список литературы

1. Стрижнёв В.Н. Методическое пособие по расчёту и конструированию двутавровой балки – Н. Новгород, 2011.
2. СП 16.13330.2017 "Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*" (с Поправкой, с Изменением N 1).
3. Сопротивление материалов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин: учебник. 3-е изд. – М.: Высшая школа, 2003.

Сведения об авторах:

Гордеевцева Анастасия Максимовна – студент, ННГАСУ;

Хазов Павел Алексеевич – к.т.н., доцент кафедры теории сооружений и технической механики, ННГАСУ.