

## Методика анализа эффективности применения стальных балок с гофрированной стенкой

*З.К. Абаев, Х.Ю. Кисиев*

*Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)*

**Аннотация:** в статье рассматриваются основные этапы разработки метода сравнительного анализа стальных балок с гофрированной стенкой и балок двутаврового сечения. Для большей достоверности сравнения рассматривались балки с различной шириной и толщиной пояса. Сравнение проводилось для пролетов 6 и 9 м при различных значениях интенсивности нагрузки. В результате исследования были построены графики, показывающие зависимость нормальных напряжений и металлоемкости от величины нагрузки. Исследование позволяет сделать вывод о том, что эффективность применения балок с гофрированной стенкой возрастает с увеличением нагрузки, при малых значениях распределенной нагрузки усилия в обычном профиле будут меньше, однако во всех случаях гофро-балки оказываются более эффективными с точки зрения металлоемкости.

**Ключевые слова:** *sin-балки, гофро-балки, стальные конструкции, анализ, эффективность применения.*

### Актуальность

Стальные балки с гофрированной стенкой (гофро-балки, *sin*-балки) находят все большее применение в самых различных строительных конструкциях [1–3]. Основное достоинство таких балок – меньшая металлоемкость за счет уменьшения толщины стенки и отказа от поперечных и продольных ребер жесткости ввиду повышенной сопротивляемости стенки балки потери местной устойчивости [4–6]. Несмотря на то, что проведено множество сравнений между обычными двутавровыми балками и балками с гофрированной стенкой, научный и практический интерес представляет разработка методики анализа эффективности применения гофро-балок, адекватно отражающей их действительные свойства [7–9].

### Цель исследования

В работе [10] проведено сравнение между двумя типами балок. Однако следует отметить ряд методологических неточностей и ошибок: во-первых, основное отличие между сравниваемыми балками, по мнению авторов, это

---

толщина стенки, причем эквивалентная толщина гофро-балки рассчитывалась из предположения, что в «1 метре содержится 1185,9 мм», однако подобное соотношение ничем не обосновывается и подтверждается; во-вторых, для сравнения был принят двутавр №50 с толщиной стенки 2,5 мм, однако в соответствии с ГОСТ 8239-89, толщина стенки  $s = 10$  мм; в-третьих, расчет проводился для одного значения нагрузки  $q = 0,05$  кН/м и одной ширины пояса 170 мм, что не позволяет в полной мере оценить эффективную область применения балок с гофрированной стенкой.

В связи с вышеизложенным, возникает необходимость предложить методику анализа эффективности применения стальных балок с гофрированной стенкой, адекватно отражающую действительные свойства сравниваемых типов балок.

### Методика исследования

#### 1. Сравнимые типы балок

а) Для сравнения примем балки с гофрированной стенкой высотой 500 мм и толщиной стенки 3 мм, ширина и толщина поясов  $200 \times 8$  мм,  $250 \times 10$  мм и  $300 \times 12$  мм (WTC-500-200×8 с  $I_{x1} = 20600$  см<sup>4</sup>; WTC-500-250×10 с  $I_{x1} = 32500$  см<sup>4</sup>; WTC-500-300×12 с  $I_{x1} = 47200$  см<sup>4</sup>) в соответствии с ТУ 5261-001-43892121-2005.

Вычислим осевые моменты сопротивления по формуле:

$$W_{x1} = I_{x1} / h_b = \begin{pmatrix} 412 \\ 650 \\ 944 \end{pmatrix} \text{ см}^3, \quad (1)$$

где  $h_b = 50$  см — высота балки.

б) В качестве сравниваемого, примем сварной двутавр с аналогичными высотой балки, толщиной стенки, шириной и толщиной поясов.

Вычислим необходимые геометрические характеристики.

Высота стенки балки:

$$h_w = h_b - 2t_f = \begin{pmatrix} 48,4 \\ 48 \\ 47,6 \end{pmatrix} \text{ мм}, \quad (2)$$

где  $t_f$  = толщина поясов.

Момент инерции стенки балки:

$$I_w = t_w h_w^3 / 12 = \begin{pmatrix} 0,853 \\ 2,083 \\ 4,32 \end{pmatrix} \text{ см}^4, \quad (3)$$

где  $t_w = 0,3$  см — толщина стенки балки.

Момент инерции балки:

$$I_{x2} = t_w h_w^3 / 12 + 2b_f t_f \left( h_w / 2 + t_f / 2 \right) = \begin{pmatrix} 22199,6 \\ 32777,3 \\ 45562,2 \end{pmatrix} \text{ см}^4. \quad (4)$$

Вычислим осевые моменты сопротивления по формуле (1):

$$W_{x2} = I_{x2} / h_b = \begin{pmatrix} 444 \\ 655,5 \\ 911,2 \end{pmatrix} \text{ см}^3.$$

## 2. Нагрузки и пролеты

В настоящем исследовании используется диапазон нагрузок 0,1–0,3 кН/м. Расчетные пролеты балок 6 и 9 м.

## 3. Определение максимальных изгибающих моментов:

$$M_{x1} = \frac{ql_1^2}{8} = \begin{pmatrix} 4500 \\ 9000 \\ 13500 \end{pmatrix} \text{ кН} \times \text{см}, \quad (5)$$

где  $l_1 = 600$  см – пролет балки.

$$M_{x2} = \frac{ql_2^2}{8} = \begin{pmatrix} 10125 \\ 20250 \\ 30375 \end{pmatrix} \text{ кН}\times\text{см}, \quad (6)$$

где  $l_2 = 900$  см – пролет балки.

4. Нормальные напряжения для каждого значения  $M_x$ :

$$\sigma_x = M_x / W_x^A. \quad (7)$$

### Анализ результатов исследования

На рис. 1 представлен график зависимости величины нормальных напряжений от величины нагрузки для балки с гофрированной стенкой ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$ ) и обычного двутаврового профиля ( $\sigma_2$ ,  $\sigma_4$ )

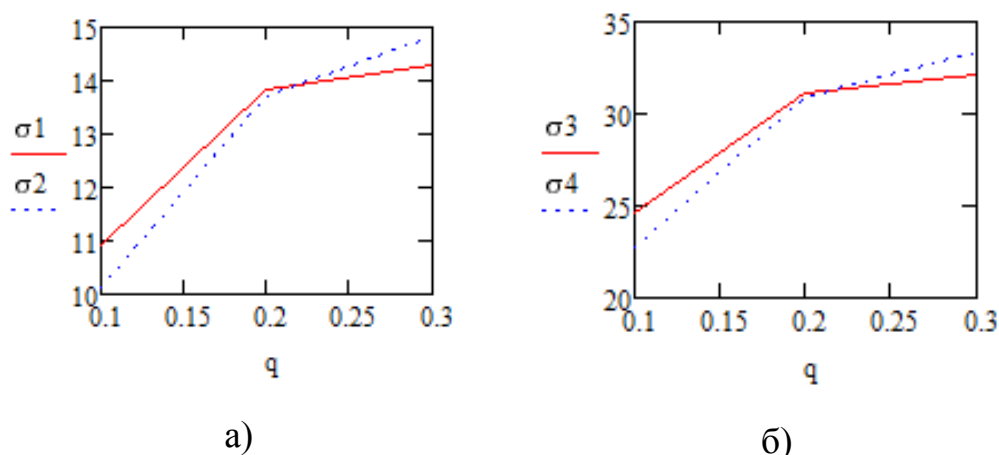


Рис. 1. – График зависимости величины нормальных напряжений от величины нагрузки: а) для пролета 6 м; б) для пролета 9 м

Как видно из графика, эффективность применения балок с гофрированной стенкой возрастает с увеличением нагрузки, при малых значениях распределенной нагрузки усилия в обычном профиле будут меньше. Подобная зависимость наблюдается и при увеличении пролета (см. рис. 1, б).

На рис. 2 представлена зависимость металлоемкости балок от величины нагрузки для балки с гофрированной стенкой ( $g_1$ ) и обычного двутаврового профиля ( $g_2$ ).

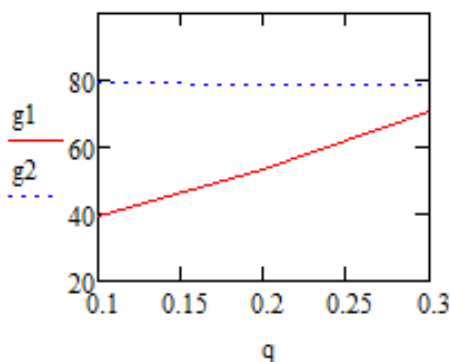


Рис. 2. – График зависимости металлоемкости от величины нагрузки

Данный позволяет увидеть, что во всех случаях балки с гофрированной стенкой оказываются более эффективными с точки зрения металлоемкости.

### Выводы

Предложенная методика анализа эффективности применения стальных балок с гофрированной стенкой позволяет адекватно определить область эффективного применения стальных балок с гофрированной стенкой с учетом действительных свойства сравниваемых типов балок.

### Литература

1. Pasternak H., Kubieniec G. Plate Girders with Corrugated Webs. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2010, vol. 16, no. 2, pp. 166–171.
2. Ferhat Erdal, Osman Tunca, Erkan Doğan. Optimum Design of Composite Corrugated Web Beams Using Hunting Search Algorithm. *International Journal Of Engineering & Applied Sciences*. 2017. Vol. 9. Issue 2, pp. 156–168.
3. D. Sokołowski, M. Kamiński. Some Reliability Issues of the Corrugated I-Beam Girder. *Engineering transactions*. 2015. Vol. 63, no. 3, pp. 297–315.
4. E. Zevallos, M.F. Hassanein, E. Real, E. Mirambella. Shear evaluation of tapered bridge girder panels with steel corrugated webs near the supports of continuous bridges. *Engineering Structures*, 2016. Vol. 113, pp. 149-159.

5. Лукин А.О. Определение прогибов балок с гофрированной стенкой с учетом сдвиговых деформаций. Инженерный вестник Дона, 2013. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1496.

6. Чепурненко А.С., Языев Б.М., Турко М.С. Расчет металлических гофрированных оболочек при осесимметричном нагружении. Инженерный вестник Дона, 2018. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5134.

7. Соловьев А.В., Лукин А.О., Алпатов В.Ю., Савостьянов В.Н. Учет особенностей работы балок с гофрированной стенкой в расчетах на стесненное кручение. Вестник МГСУ, 2012. №11. С. 105-112.

8. Бальзанников М.И., Холопов И.С., Соловьев А.В., Лукин А.О. Применение стальных балок с гофрированной стенкой в гидротехнических сооружениях / Вестник МГСУ. 2013. № 11. С. 34—41.

9. Брянцев А.А., Абсиметов В.Э., Лалин В.В. Эффективность применения двутавров с гофрированными стенками в производственных зданиях. Строительство уникальных зданий и сооружений, 2017, №3. С. 93-104.

10. Заборова Д.Д., Дунаевская Ю.П. Преимущества и особенности применения гофро-балки в строительстве. Строительство уникальных зданий и сооружений, 2014. №7. С. 36–53.

### References

1. Pasternak H., Kubieniec G. Journal of Civil Engineering and Management. 2010, vol. 16, no. 2, pp. 166–171.

2. Ferhat Erdal, Osman Tunca, Erkan Doğan. International Journal Of Engineering & Applied Sciences. 2017. Vol. 9. Issue 2, pp. 156–168.

3. D. Sokołowski, M. Kamiński. Engineering transactions. 2015. Vol. 63, no. 3, pp. 297–315.

4. E. Zevallos, M.F. Hassanein, E. Real, E. Mirambella. Engineering Structures, 2016. Vol. 113, pp. 149-159.



5. Lukin A.O. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013. №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1496](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1496).
6. Chepurnenko A.S., Yazyev B.M, Turko M.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013. №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5134](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5134).
7. Solov'ev A.V., Lukin A.O., Alpatov V.Ju., Savost'janov V.N. Vestnik MGSU, 2012. №11. Pp. 105-112.
8. Bal'zannikov M.I., Holopov I.S., Solov'ev A.V., Lukin A.O. Vestnik MGSU. 2013. № 11. Pp. 34—41.
9. Brjancev A.A., Absimetov V.Je., Lalin V.V. Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij, 2017, №3. Pp. 93-104.
10. Zaborova D.D., Dunaevskaya Yu.P. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy, 2014. №7. Pp .36–53.