

## АНАЛИЗ БАЛОК С ГОФРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ

**О. С. Бондаренко, А. А. Кикоть**

Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

*В данной работе рассмотрены ключевые аспекты применения балок с гофрированной стенкой. Произведен подбор сечения двутавровой балки с плоской стенкой и двутавровой балки с гофрированной стенкой. Выполнено сравнение данных сечений. Приведены основные преимущества и недостатки балок с гофрированной стенкой.*

**Ключевые слова:** балка с гофрированной стенкой, SIN-балка, гофро-балка, синусоидальный профиль стенки.

Идея балок с гофрированной стенкой появилась в начале XX столетия. Учеными были предложены и исследованы различные типы гофр (рисунок 1). Каждый тип гофрирования имеет свои преимущества и недостатки, как технологические (простота изготовления, сложность выполнения сварного шва) так и те которые влияют на несущую способность. Кроме возможностей экономии веса ученые сразу отметили повышенную устойчивость гофро-балок к динамическим, в том числе сейсмическим нагрузкам [1]. Данные качества делают балки с гофрированной стенкой достаточно универсальными. Уменьшение веса положительно влияет на экономические факторы. Облегчая конструкцию мы уменьшаем затраты на производство, транспортировку, монтаж, снижаем нагрузки на нижележащие конструкции, уменьшаем затраты при монтаже и эксплуатации.

Балки с гофрированной стенкой получили широкое распространение в строительстве за счет своих качеств. Ригели, колонны каркасы жилых и промышленных зданий, конструкции большепролетных мостов и другие виды реализации балок, можно встретить в наше время.

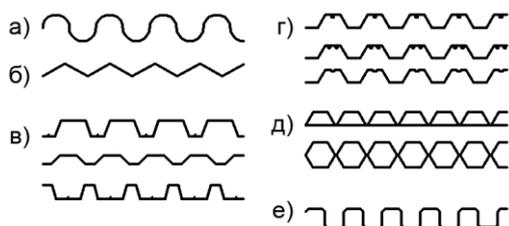


Рисунок 1 – Типы гофр:

- а) синусоидальная; б) треугольная; в) трапециевидные гофры; г) трапециевидные гофры с ребром жесткости; д) замкнутые ячейковые; е) прямоугольная

Благодаря гофрированной стенке балка более эффективно воспринимает нагрузки, и ее профилированные элементы более устойчивы к постоянной нагрузке. Пояса балки преимущественно воспринимают изгибающий момент. Гофра так же, как и плоская стенка служит для связи поясов и объединения их в работе.

В основном она воспринимает перерезывающие усилия в приопорной зоне балки. Изменение толщины плоской стенки к середине балки не технологично, поэтому гофрирование является рациональным вариантом для того, чтобы уменьшить её толщину при этом увеличив другие характеристики. К потере местной устойчивости в стенке могут привести поперечные силы у опор балки и нормальные сжимающие напряжения, которые увеличиваются ближе к центру, а также их совместное действие.

Сравнение балок с различными видами гофров при стесненном кручении показало, что балка с гофрами треугольного очертания имеет лучшую изгибную жесткость, а балка с трапециевидальной гофрой – лучшую жесткость на кручение при одинаковых геометрических параметрах [2].

Накопленный практический и экспериментальный опыт показывает, что наиболее эффективным профилем для стенки является синусоидальная гофра, которая по данным многочисленных исследований [3] является наиболее устойчивой по сравнению с другими видами гофров и технологически наиболее целесообразна.

Преимущество синусоидальной стенки перед плоской стенкой – является устранение местной деформации, которая свойственна плоским пластинам.

Чаще стенка гофра имеет толщины от 1,5 мм до 4 мм, что дает значительное снижение веса, в сравнении с горячекатаными и

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ № 3 2016

традиционными сварными балками с плоской стенкой, при одной и той же нагрузке [4].

Оптимальная сфера применения стальных сварных балок с гофрированной стенкой синусоидального сечения, находится в области возведения стальных несущих конструкций, где обычно используются катаные профили с высотой более 450 мм или низкие фермы с высотой ниже 1800 мм [3]. Зависимость расхода металла на балку от ее высоты имеет гиперболический характер [5]. Данная зависимость, не имеющая минимума в зоне практически применяемых высот. Поэтому оптимальной высотой будет высота балки при минимально возможной толщине стенки [5].

Доля металла идущего на стенку гофро-балки значительно меньше, чем в обычных балках с плоской стенкой, примерно на 40-50% [5].

Второй источник экономии металла – уменьшение числа ребер жесткости [5].

Предотвратить землетрясение пока невозможно. Чтобы исключить опасные последствия землетрясений, необходимо возводить такие здания, которые устояли бы при сильных колебаниях поверхности земли без серьезных повреждений [1].

Гофрирование стенки позволяет увеличить жесткость балки на 15-30%, вследствие демпфирующего эффекта стенки [4].

Гофро-балка имеет ряд преимуществ и недостатков.

Благодаря гофрированной стенке, конструкция более эффективно воспринимает нагрузки. Ее профилированные элементы более устойчивы к длительной статической нагрузке [4].

Общий вес строительных конструкций уменьшается на 10-30%. В пособии [3] автором были сопоставлены показатели массы, стоимости, длины, и массы направленного металла 48 вариантов балок с плоскими и гофрированными стенками.

Сравнение показало, что сварные двутавры с гофрированной стенкой экономичнее по расходу стали, чем сварные двутавры с плоской стенкой, для всех 48 рассмотренных вариантов экономия металла составляла от 9 до 27%.

В пособии [5] была проанализирована, зависимость пролета балки и экономии материала в сечении. Причем зависимость экономии металла с длинной балки только возрастала. Это возможно благодаря уменьшению толщины стенки гофро-балок.

Практика показывает, что при пролетах до 8-9 метров хорошо использовать классические балки [6].

В пролетах от 9 до 15 метров классические балки использовать не рационально, потому что используется много лишнего материала [6]. Для таких пролетов принимать ферму тоже не рационально, она увеличивает строительную высоту перекрытия или покрытия, что не всегда допустимо. Поэтому в таких случаях оптимальным решением для проектировщика является использование гофро-балок. Для их изготовления используют меньше материала, они создают меньшую нагрузку на нижележащие конструкции и не увеличивают строительную высоту.

Такой тип балок является наиболее затратным при изготовлении. Набор оборудования, требуемый для производства, стоит намного дороже, чем производство обычных сварных стальных двутавровых балок.

Автоматизированные линии [7] позволяют сократить дорогой и сложный процесс изготовления SIN-балки. Процесс сварки выполняется автоматически, при помощи сварочных роботов. Производительность такой сварочной линии составляет до 1 метра в минуту [7].

В балках с плоской стенкой часто требуется постановка поперечных ребер жесткости. Количество ребер жесткости в балках с гофрированной стенкой значительно меньше это уменьшает трудозатраты на 15-25% [5].

Гофро-балку можно использовать как элемент дизайна. Благодаря оригинальному внешнему виду такие балки могут стать архитектурным элементом сооружения. Но за счет волнистой стенки пыль и грязь оседает на гофрах, и такая конструкция нуждается в постоянной очистке. Это снижает экологичность помещения и эстетичный вид [10].

Поскольку балки с гофрированной стенкой по сравнению с фермой экономят строительную высоту, то обогреваемый объем здания будет меньше [11].

В нормативной литературе России [8] не содержится методики расчета балок с гофрированной стенкой, это затрудняет процесс проектирования и многие проектировщики не используют такой тип балок.

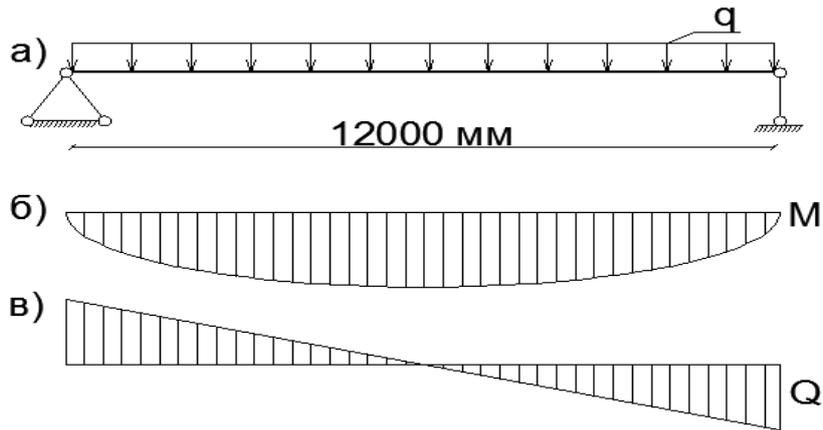
Рассмотрим составную сварную двутавровую балку с плоской стенкой и двутавровую балку с гофрированной стенкой. Расчет двутавровой балки с плоской стенкой выполнен в соответствии с [8]. Двутавровая балка с гофрированной стенкой рассчитана по [4, 6]. Расчетная схема балок, эпюра изгибающего мо-

мента и поперечной силы представлены на рисунке 2.

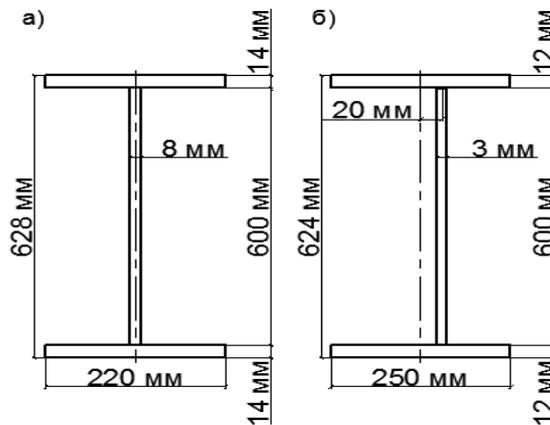
Значение равномерно распределенной нагрузки  $q = 0,224$  кН/см, длина  $l = 12$  м, максимальный изгибающий момент  $M = 403$  кН\*м, значение перерезывающей силы  $Q = 134$  кН. Сталь С245 по ГОСТ 27772 [9] с расчетным сопротивлением  $R_y = 24$  кН/см<sup>2</sup>.

Требуемый момент сопротивления сечения  $W_{tr} = 1,863 \cdot 10^3$  см<sup>3</sup>.

Подберем сечение балок и сопоставим значения в табличном виде (таблица 1). Сечение поясов не изменялось по длине. Подобранные сечения представлены на рисунке 3.



а) расчетная схема; б) эпюра моментов; в) эпюра перерезывающей силы  
Рисунок 2 – Балка с равномерно распределенной нагрузкой



а) сечение стальной сварной двутавровой балки с плоской стенкой;  
б) сечение стальной двутавровой балки с гофрированной стенкой  
Рисунок 3 – Подобранные сечения

Таблица 1 – Значения для сравнения сечения балок

Критерий	Балка с плоской стенкой	Балка с гофрированной стенкой
Высота стенки $h_w$ , см	60	60
Толщина стенки $t_w$ , см	0,8	0,3
Ширина пояса $b_f$ , см	22	25
Толщина пояса $t_f$ , мм	14	12
Площадь сечения $A$ , см <sup>2</sup>	92	78
Момент инерции сечения $I_x$ , см <sup>4</sup>	55330	56180
Нормативный прогиб, мм	5,937	5,937
Прогиб балки $f_{max}$ , мм	5,296	4,48

По расчетам прогибы балок не превышают предельно допустимые. Дополнительные ребра жесткости по расчету не требовались.

Нормальные и местные напряжения не превышают предельно допустимые. Касательные напряжения удовлетворяют условиям прочности.

Общая устойчивость и устойчивость верхнего сжатого пояса обеспечена.

По подобранным характеристикам сечений балок видно, что при одних и тех же нагрузках площадь для восприятия усилий требуется разная. За счет этого происходит экономия стали.

#### **Заключение**

Из приведенных результатов видно, что балка с гофрированной стенкой имеет преимущества, перед балкой с плоской стенкой.

Расход стали на балку с гофрированной стенкой меньше на 12%, чем на стальную сварную двутавровую балку.

Прогиб балки с гофрированной стенкой составляет 24,5% от максимально возможного прогиба балки, когда у балки с плоской стенкой запас всего 10,8%.

Проанализировав все особенности применения гофро-балок, можно прийти к выводу, что ее использование целесообразно далеко не во всех случаях. Поскольку основными критериями при выполнении проектных работ, помимо прочности и надежности, должна быть экономическая эффективность, то выбор следует осуществлять с особой внимательностью.

Необходимо сопоставлять и учитывать все факторы, на которые может повлиять выбор конкретного типа балок.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Корчинский, И. Л. Сейсмостойкое строительство зданий / И. М. Корчинский. – М. : Высшая школа, 1971. – 320 с.
2. Соловьев, А. В. Учет особенностей работы балок с гофрированной стенкой в расчетах на стесненное кручение / А. В. Соловьев, А. О. Лукин,

В. Ю. Алпатов, В. Н. Савостьянов // Вестник МГСУ. – 2012. - № 11. – С. 105-112.

3. Файнштейн, А. Стальные балки минимального веса / А. Файнштейн. – СПбГПУ, 2006. – 96 с.

4. Степаненко, А. Н. Стальные двутавровые стержни с волнистой стенкой: учебное пособие. / А. Н. Степаненко. – Хабаров. гос. техн. ун-та, 1999. – 115 с.

5. Проектирование металлических конструкций: спец. курс, учебное пособие для вузов / В. В. Бирюлев, И. И. Кошкин, И. И. Крылов, А. В. Сильвестров. – Л. : Стройиздат, 1990. - 432 с.

6. Кудрявцев, С. В. Рекомендации по расчету и проектированию сварных стальных профилей с волнистыми стенками / С. В. Кудрявцев, Т. Л. Кудрявцева, К. А. Романов // Екатеринбург: – ООО «Силур», 2015. – 57 с.

7. Wellstegträger productionsanlage sin beam machine: сайт Zeman Bauelemente Produktionsges. [Электронный ресурс]. 2002. Дата обновления: 10.05.2014. URL: <http://www.zebau.com/media/sin-beam-machine.pdf> (дата обращения: 31.10.2016).

8. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* (с Изменением N 1) Введ. 2011-05-20. – М. : Изд-во Минрегион России, 2011. – 177 с.

9. ГОСТ 27772-88. Прокат для строительных стальных конструкций. – Москва : Изд-во стандартов, 1989. – 13 с.

10. Мартынюк, А. Я. SIN-балка. История, которая создавалась в России [Электронный ресурс]: Быстровозводимые здания // СтройПРОФИ. – 26.03.2014. – № 19. – URL: <http://stroy-profi.info/archive/11510> (дата обращения: 27.10.2016).

11. Заборова Д. Д., Дунаевская Ю. П. Преимущества и особенности применения гофро-балки в строительстве. [Электронный ресурс]: Строительство уникальных зданий и сооружений // Санкт-Петербургский политехнический университет. – № 22. – URL: [http://unistroy.spbstu.ru/index\\_2014\\_22/3\\_zaborova\\_22.pdf](http://unistroy.spbstu.ru/index_2014_22/3_zaborova_22.pdf) (дата обращения: 28.10.2016).

**Бондаренко О.С.** – магистрант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: [bos1401@mail.ru](mailto:bos1401@mail.ru).

**Кикоть А.А.** – к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: [deltaing@mail.ru](mailto:deltaing@mail.ru).