



Преимущества и особенности применения гофро-балки в строительстве

Д.Д. Заборова¹, Ю.П. Дунаевская²

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, 29.

Информация о статье

УДК 691

Научная статья

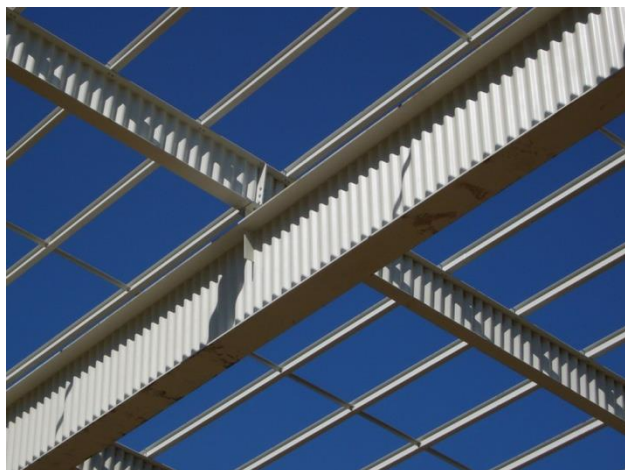
История

Подана в редакцию 23 марта 2014
Принята 7 июля 2014

Ключевые слова

строительство,
гофро-балка,
металлическая конструкция,
несущая способность,
прочность на изгиб.

АННОТАЦИЯ



Балка с гофрированной стенкой - это конструкция, состоящая из поясов произвольного сечения и тонкой металлической стенки, которая в поперечном направлении изогнута (гофрирована). В настоящее время такие конструкции используются в качестве балок-перекрытий в многоэтажных жилых домах, большепролетных балок покрытия в промышленных зданиях, элементов купольных конструкций в административных зданиях.

В данной статье рассматриваются различные случаи применения гофро-балки и ее сравнение с классической двутавровой балкой. Показано, что использование гофро-балки имеет, как и ряд преимуществ, так и некоторые недостатки.

На основе исследований сделаны следующие выводы:

1. Использование таких балок помогает сэкономить материал за счет уменьшения толщины стенки и ее изогнутой формы.
2. Прочность гофро-балки только немного выше прочности обычной балки.
3. Замена фермы или обычной двутавровой балки на гофро-балку возможна далеко не во всех случаях.

Содержание

1. Введение	37
2. Обзор литературы	37
3. Цель работы	38
4. Применение гофро-балок	38
5. Особенности гофро-балок	39
6. Выводы	42

1

Контактный автор:

+7 (911) 180 6033, zaborova-dasha@mail.ru (Заборова Дарья Дмитриевна, бакалавр)

2

+7 (981) 706 2268, juliadynaevskaya@gmail.com (Дунаевская Юлия Павловна, бакалавр)

1. Введение

Гофро-балка (Sin-beam от латинского sinus – изгиб) это составная пролётная конструкция с волнообразным гребнем и широкими пластинчатыми рёбрами (рисунок 1). Гофро-балка представляет собой сварной двугавр. Верхний и нижний пояса выполнены из стали толщиной от 6 до 30мм. Ширина поясов – от 160 до 400мм. Стенка представляет собой синусоидальной формы гофру, выполненную из горячекатаной стали. Толщина стенки от 2,0 до 3,0мм. Высота гофро-балки может быть разной (рисунок 2).

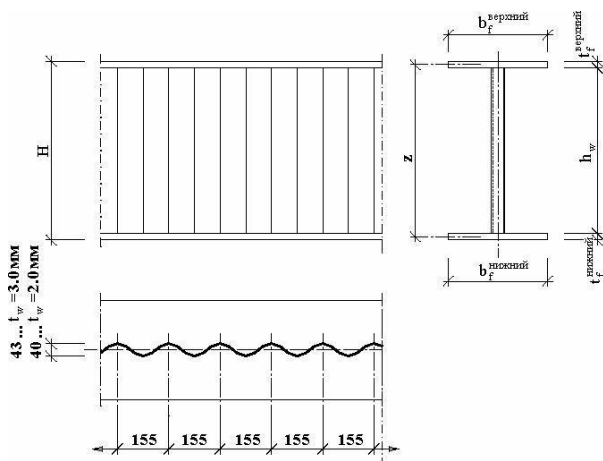


Рисунок 1. Чертеж гофро-балки [9]

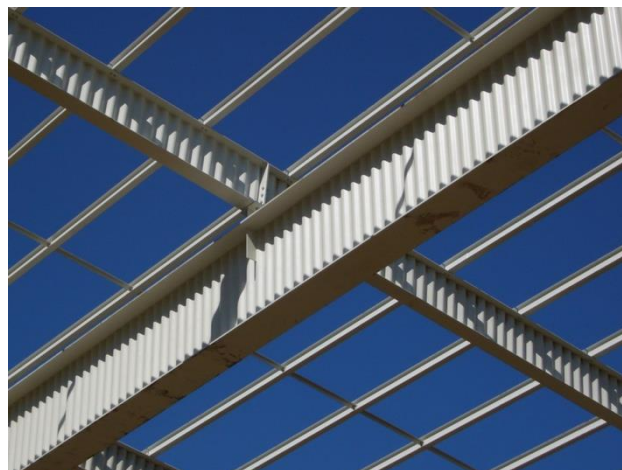


Рисунок 2. Гофро-балка [15]

Согласно проектной документации и нормами проектирования стальных конструкций, для изготовления гофро-балок принимают: для поясов — горячекатаную листовую сталь не ниже марки С255 по ГОСТ 27772 (СтЗсп, по ГОСТ 14637); для стенки — холоднокатаную тонколистовую сталь СтЗсп по ГОСТ 16523. Применение иных конструкционных материалов тоже возможно, в зависимости от требований заказа и нормативно-технической документации для конкретного вида продукции. Гофро-балка признана одним из «инновационных материалов» в статье [1]. Гофро-балка – новая конструкция для России, хотя во всём мире она уже широко используется.

В 1988 году австрийской компании Zeman впервые представилась возможность использовать свои запатентованные гофро-балки при строительстве первого в Польше торгового центра на 55000 квадратных метров. Применение гофро-балок не только позволило уложиться в срок, но и снизить общий вес конструкций на 700 тонн, то есть до 1400 вместо 2100 тонн. Она активно применяется в странах ЕС.

«В основе расчета конструкций с применением гофро-балок лежит EUROCODE 3: Design of steel structures; Part 1-1: General rules and rules for building» - Ватин Н.И., директор Инженерно-строительного института Политехнического университета.

2. Обзор литературы

Исследованию несущей способности балок уделено достаточно большое внимание [1-15]. Стальные балки с гофрированной стенкой в настоящее время активно применяются в зданиях различного назначения [24]. Главный недостаток прямой стенки обычной двутавровой балки это потеря местной устойчивости. В гофро-балках за счет волнистой стенки такой проблемы нет [6].

Согласно [23-26] профиль стенки гофро-балки может быть двух видов: трапециевидный и синусоидальный (рисунок 3). Также применяются гофры с треугольным очертанием образующей [7]. Каждый тип гофрирования имеет свои достоинства и недостатки. С точки зрения простоты изготовления наиболее выгодны гофры с треугольным очертанием образующей, а с точки зрения устойчивости гофрированной стенки предпочтительны волнистые [6]. Использование именно последнего вида профиля возросло в последние годы. Из-за тонкого листа (1,5-3) мм профиля стенки происходит значительное снижение веса по сравнению с горячекатаными профилями или сварными двутаврами сечениями [24].

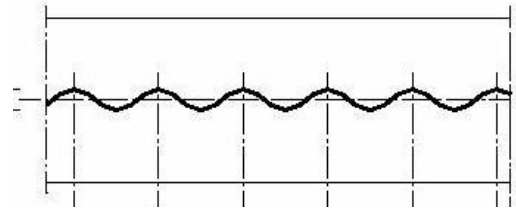
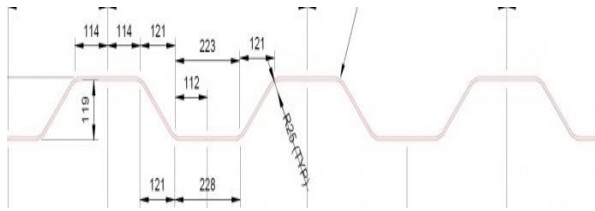


Рисунок 3.1. Трапециевидный профиль стенки [2]

Рисунок 3.2. Синусоидальный профиль стенки [2]

В начале 1960-х, трапециевидные гофрированные поперечные балки использовались для металлических конструкций и эстакад на автомагистралях в Европе и Японии с 1980 года [24]. Также, расширение границ применения стальных балок с гофрированной стенкой можно произвести за счет внедрения их в гидротехнические сооружения [23].

3. Цель работы

Целью работы является исследование достоинств и недостатков гофро-балки для рационального использования в строительстве. В связи с чем, необходимо изучить конструкцию гофро-балки и рассмотреть ее особенности.

4. Применение гофро-балок

Гофро-балки используют:

1. Как несущие конструкции при строительстве зданий (рисунок 4);
2. Как элементы мостовых кранов (рисунок 5);
3. В качестве балок покрытий и перекрытий (рисунок 6);
4. Как кран – балки.

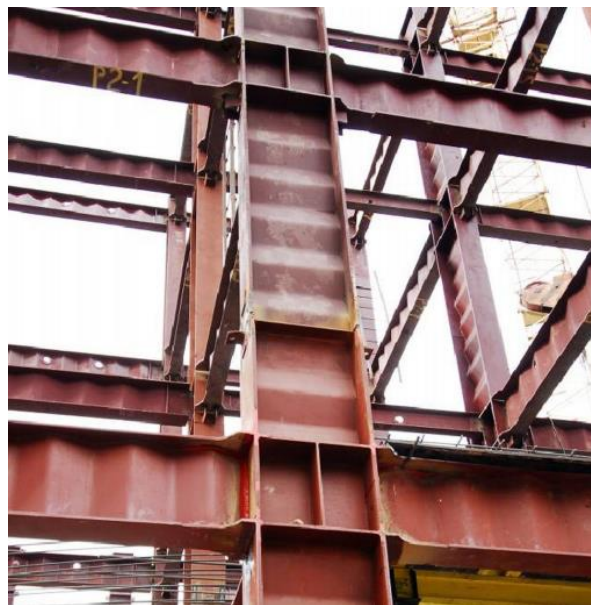


Рисунок 4. Многоэтажный жилой дом в городе Алматы республики Казахстан.
Каркас здания выполнен из стальных колонн и балок с треугольно-гофрированными стенками.
Перекрытия выполнены из монолитного железобетона [6]



Рисунок 5. Автомобильный мост в Японии. В качестве пролетного строения моста применены балки с трапециевидно-гофрированной металлической стенкой и железобетонными поясами. [6]



Рисунок 6. Многоэтажная автостоянка в аэропорту города Вена, Австрия. В качестве балок перекрытия применены стальные балки с волнисто-гофрированной стенкой производства компании Zeman. [6]

В наше время, производство гофро-балок – это непрерывный и автоматизированный процесс производительностью до 20 тысяч тонн продукции в год. В начале линии рулонная сталь поступает с размотывателя в выпрямитель для снижения напряжения, потом сталь режется на полосы заранее определённой ширины и длины. Далее заготовки поочередно поступают в профилирующий пресс. Полки прижимаются к торцам гофрированной стенки с помощью гидравлического устройства. Геометрия гофрированной стенки сканируется лазером, а потом по стыку между ней и полкой происходит сварка двумя сварочными пистолетами. Сварка идет только с одной стороны, потому что толщина стенки небольшая. Нужные крепежные элементы привариваются уже вручную, затем балку зачищают, окрашивают и сушат.

5. Особенности гофро-балок

Рассмотрим более подробно особенности гофро – балок:

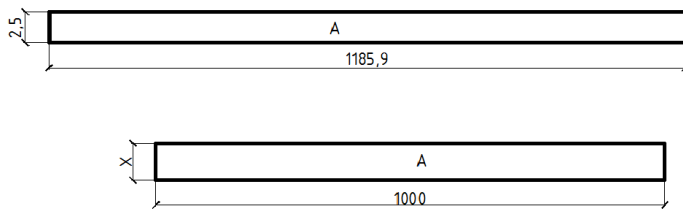
1. *Благодаря гофрированной стенке, конструкция эффективно воспринимает изгибающие нагрузки, и её профилированные элементы более устойчивы к длительной статической нагрузке (полки воспринимают изгибающие моменты и нормальные нагрузки, а гофрированные стенки воспринимают поперечные силы).* Преимуществом синусоидального ребра перед прямым является

устранение местной деформации, которая свойственна плоским пластинам. Приведем небольшой расчет на прочность гофро-балки и сравним его с расчетом на прочность классической двутавровой балки. Возьмем гофро-балку марки WTA(B, C) — H — b x t, где WT — гофро-балка с синусоидальной формой гофра стенки; A (B, C) — толщина стенки:

A = 2,0 мм; B = 2,5 мм; C = 3,0 мм; H — высота стенки, принимаемая равной 500; b — ширина пояса: минимальное значение b = 170 мм; t — толщина пояса: t = 15 мм; L-длина; L=6000мм.

Вид, размеры и геометрические характеристики поперечных сечений, масса 1 п/м гофро-балок соответствуют ТУ 5261-001-43892121-2005.

WTV — 500— 170 × 15.И возьмем для расчёта классическую двутавровую балку с такими же размерами.



Поскольку гофро-балка имеет изгибы, то в 1 метре содержится стенка гофро-балки длиной 1185,9 мм (рис.7). Рассмотрим один метр гофро-балки. Площади должны быть равны, т.е. A=A.

$$A = 2,5 * 1185,9 = 2964,75 \text{ мм}^2$$

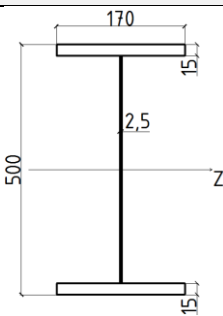
Следовательно,

$$x = \frac{A}{100} = \frac{2964,75}{1000} = 2,965 \text{ мм}$$

Рисунок 7. Площадь одного погонного метра гофро-балки

Расчёт предоставлен в табличной форме для удобства сравнения.

Таблица 1. Расчет балок на прочность

	Обычная двутавровая балка.	Гофро-балка.
Исходные данные	 <p>Рисунок 8.1. Сечение двутавровой балки По сортаменту примем двутавр №50.</p>	 <p>Рисунок 8.2. Сечение гофро-балки По сортаменту примем двутавр №50.</p>

	Обычная двутавровая балка.	Гофро-балка.
Момент инерции	$I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12}; I_1 = 4,78 \text{ см}^4$ $I_2 = \frac{b \cdot h^3}{12}; I_2 = 270,323 \text{ см}^4$ I – момент инерции $a_1 = 24,25 \text{ см}$ $a_2 = 11,75 \text{ см}$ $F_1 = 25,5 \text{ см}^2$ $F_2 = 5,875 \text{ см}^2$ F-площадь прямоугольников $I_{об} = 32134 \text{ см}^4 = 3,21 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4$	$I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12}; I_1 = 4,78 \text{ см}^4$ $I_2 = \frac{b \cdot h^3}{12}; I_2 = 320,66 \text{ см}^4$ I – момент инерции $a_1 = 24,25 \text{ см}$ $a_2 = 11,75 \text{ см}$ $F_1 = 25,5 \text{ см}^2$ $F_2 = 6,968 \text{ см}^2$ F-площадь прямоугольников $I_{об} = 32566,11 \text{ см}^4 = 3,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4$
Вывод:	Момент инерции гофро-балки больше (на 1,5%), чем у обычной двутавровой балки, но незначительно.	
Нормальное напряжение	Нагрузка. $q = 5 \frac{\text{кН}}{\text{м}} = 0,05 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$ $\sigma = \frac{M}{W}; \sigma = 1,555 \cdot 10^{-6}$	Нагрузка. $q = 5 \frac{\text{кН}}{\text{м}} = 0,05 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$ $\sigma = \frac{M}{W}; \sigma = 1,535 \cdot 10^{-6}$
Вывод:	Так как момент инерции гофро-балки больше (на 2%), а нагрузка одинаковая, то у гофро-балки нормальное напряжение будет меньше, чем у обычной.	
Радиус инерции	$i = \sqrt{\frac{I}{F}}$ $F = (F_1 + F_2) \cdot 2 = 62,75 \text{ см}^2$ $i = 22,64 \text{ см}$	$i = \sqrt{\frac{I}{F}}$ $F = (F_1 + F_2) \cdot 2 = 64,936 \text{ см}^2$ $i = 22,4 \text{ см}$
Вывод:	У гофро-балки радиус инерции меньше, поэтому она будет иметь большую экономичность. (Меньше всего на 1,1 %)	
Прогиб	$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{EI} \quad f = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ м}$	$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{EI} \quad f = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$
Вывод:	Так как момент инерции гофро-балки больше, а нагрузка одинаковая, то у гофро-балки прогиб будет меньше, чем у обычной (на 1%).	

Из приведенных расчетов видно, что по всем параметрам гофробалка имеет преимущества перед обычной на доли процента.

2. Область применения таких балок аналогична обычным двутавровым/тавровым балкам без структурных ограничений.

В настоящее время гофро-балки применяются не только в качестве стропильных балок в покрытиях одноэтажных зданий, но и в качестве несущих конструкций куполов, галерей и многоэтажных зданий.

3. Общий вес строительных конструкций уменьшается на 10-30%.

В пособии Файнштейн А. «Стальные балки минимального веса» 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 на 9-27% чем сварные двутавры с плоской стенкой, для всех 48 рассмотренных вариантов [24]. Такая экономия осуществляется за счет возможности уменьшения толщины стенки гофро -балок.

4. Sin-балки следует использовать при «спорных» пролетах зданий.

Практика показывает, что при пролетах до 8 – 9 метров хорошо использовать классические балки. В пролетах от 9 до 15 метров классические балки использовать не рационально, потому что используется много лишнего материала. Для таких пролетов принимать ферму тоже не оптимально, она увеличивает строительную высоту, что не всегда хорошо. Поэтому в таких случаях самым оптимальным решением для проектировщика является использование гофро-балок, для их изготовления используют меньше материала, они дают меньшую нагрузку на конструкцию и не увеличивают строительную высоту.

5. Быстрая скорость возведения, простота сборки и лёгкость доставки на объект.

Автоматизированные линии позволяют сократить дорогой и долгий предварительный процесс сборки и сварки гофро-балки. По сравнению с фермами они легче монтируются и доставляются на объект.

6. Гофро-балку можно использовать как элемент дизайна.

Благодаря оригинальному внешнему виду такие балки могут стать архитектурным элементом помещения, но за счет волнистой стенки пыль и грязь оседает на гофрах и такая конструкция для очистки. Это значительно уменьшает экологичность помещения и эстетический вид.

7. Экономия на отоплении.

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

8. Такой тип балок является наиболее затратным при изготовлении.

Набор оборудования, требуемый для производства, а так же разрешение на покупку такой линии у компании Zetap, стоят намного дороже, чем производство фирменных конструкций.

9. Не рекомендуется использовать этот тип балок в качестве колонн.

При работе колонны на сжатие, прочностные характеристики такой конструкции, выполненной из гофро-балки хуже, чем у конструкции, выполненной из обычной балки.

10. В нормативной литературе пока нет сведений о гофро-балке, это затрудняет процесс проектирования и многие проектировщики отказываются работать с таким типом балок.

В связи с введением в 2007 году на территории Казахстана РДС РК 5.04-24-2006 сортамента эффективных сварных двутавровых профилей с гофрированными стенками, область применения таких балок в республике намного увеличилась. При адаптации этого технического документа для Российской Федерации или разработки новых строительных норм и правил гофро-балка более охотно применялась бы в строительстве на территории России.

6. Выводы

Проанализировав все особенности применения гофро-балки, можно прийти к выводу, что ее использование целесообразно далеко не во всех случаях, потому что у гофро-балки есть свои плюсы и минусы. Поскольку основными критериями при выполнении проектных работ помимо прочности и надежности должна быть экономическая эффективность, то выбор строительной конструкции и материалов следует осуществлять с особой внимательностью. После того как удастся снизить затраты на производство гофро-балки и появится техническая документация, можно будет думать о более широком применении гофро-балки для современного строительства на территории России.

Литература

1. Черезова Н. Инвестиции в будущее // Балтийский Горизонт №2(10) май-июнь 2013. С.6-9.
2. Катюшин В.В. Оптимизация двутавровых сечений рамных конструкций // Журнал Строительная механика и расчет сооружений. Издательство: ОАО «Научно-исследовательский центр «Строительство» (Москва) 2012. С.22-23.
3. Полтораднев А.С. Несущая способность и оптимизация стальных тонкостенных балок // Диссертация (Код специальности ВАК 05.23.01). Специальность: Строительные конструкции, здания и сооружения, г. Москва. 2013. С. 57-60.
4. Ильина А.А. Прочность и устойчивость стальных изгибаемых элементов с регулярной и нерегулярной шахматной перфорацией стенки. Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. (Код специальности ВАК 05.23.01). Специальность: Строительные конструкции, здания и сооружения, г. Владимир. 2004. С.3-4.
5. Металлические конструкции под ред. В.В. Горева том 1, 2001. С. 294-303.
6. Кудрявцев С.В. Расчет двутавровой балки с гофрированной стенкой на изгиб в своей плоскости под действием статических нагрузок (Часть 1: Методика Расчета). ГОУ ВПО «Урал. Гос. Техн. Ун-т-УПИ». Екатеринбург, 2007. 17 с.: ил. Библиогр.: 20 назв. Рус. Деп. В ВИНТИ 20.07.07, №749-В2007. С. 33-34.
7. Кудрявцев С.В. Расчет двутавровой балки с гофрированной стенкой на изгиб в своей плоскости под действием статических нагрузок (Часть 2: Методика Расчета). ГОУ ВПО «Урал. Гос. Техн. Ун-т-УПИ». Екатеринбург, 2007. 17 с.: ил. Библиогр.: 20 назв. Рус. Деп. В ВИНТИ 20.07.07, №749-В2007. С. 250-258.
8. 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.
9. Остриков Г.М., Максимов Ю.С., Долинский В.В.. Исследование несущей способности стальных двутавровых балок с вертикально гофрированной стенкой // Строительная механика и расчет сооружений. – 1983.- №1.-С.68-70.
10. Барановская С.Г. Прочность и устойчивость гофрированной стенки стальной двутавровой балки. Автореф. Дис. Канд. Тех. Наук. Новосибирск, 1990. С. 20.
11. Убайдуллоев М.Н. Повышение несущей способности эксплуатируемых сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №4 (9). С.15.
12. Броуде Б.М., Моисеев В.И. Устойчивость прямоугольных пластинок с упругим защемлением продольных сторон // Строительная механика и расчет сооружений. 1982. №1, С. 39-42.
13. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни. Физматгиздат, 1961. С. 568..
14. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. М. : Наука, 1967. С. 984.
15. Долинский В.В. Стальные двутавровые ригели с гофрированной стенкой в сейсмостойких многоэтажных рамных каркасах. Автореф. дисс. канд. тех. наук. Спец. 05.23.01. Новосибирск, 1985. С. 22.
16. Максимов Ю.С., Остриков Г.М. Легкие стальные конструкции покрытий производственных зданий // Экспресс-информация. Алма-Ата: КазЦНТИС Госстроя Казахской ССР, 1987. С. 41.
17. Металлические конструкции. Справочник проектировщика. М.: АСВ, 1998. Т.2: Стальные конструкции зданий и сооружений, 1998. С. 512.
18. Степененко А.Н. Исследование работы металлических балок с тонкими гофрированными стенками при статическом нагружении. Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. Спец. 05.23.01. Свердловск, 1972. 151 с.
19. Балки с гофрированной стенкой. Техническая документация. Zeman&Co GesellschaftmbH., 1993.14 с.
20. Кудишин Ю.И., Беденя Е.И., Игнатьева В.С. [и др.] Металлические конструкции. 8-е изд., перераб. И доп. М.: Издательский центр «Академия», 2006. С. 688.
21. СНиП 2-23-8*. Стальные конструкции.
22. Рогалевич В.В., Кудрявцев С.В. Концентрация напряжений вблизи круговых отверстий в гофрированных стенках балок // Известия вузов. Строительство. 2008. №11.С. 8-13.

23. Бальзанников М.И., Холопов И.С., Соловьев А.В., Лукин А.О. Применение стальных балок с гофрированной стенкой в гидротехнических сооружениях // Вестник МГСУ. 2013. С.34.
24. Файнштейн А.А. Стальные балки минимального веса. Изд-во Политехнический университет, 2007. 95 с.
25. Pasternak H., Kubieniec G. (2010) Plate girders with corrugated webs. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2010. Vol. 16. Issue 2. Pp. 166—171.
26. Sayed-Ahmed E. Y. (2005) Lateral torsion-flexure buckling of corrugated web steel girders. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structures & Buildings*. 2005 Issue SB1. Pp. 53–69.
27. Zhang, W, Y. Li, Q. Zhou, [et. al.] (2000) Optimization of the structure of an H-beam with either a flat or a corrugated web. Part 3. Development and research on H-beams with wholly corrugated webs, *J. Mater. Process. Technol.* Vol.101. Issue 1. 2000. Pp. 119–123.24.
28. Abbas HH, Sause R, Driver RG. (2006) Behavior of corrugated web I-girders under in- plane loading. *Journal of Structural Engineering ASCE* 2006. Vol. 132. Issue 8. Pp. 806-814.
29. Basher M., Shanmugam N.E., Khalim A.R. (2011) Horizontally curved composite plate girders with trapezoidally corrugated webs. *Journal of Constructional Steel Research*. Vol. 67. Issue 6. 2011. Pp. 947-956.
30. Khalid Y.A., Chan C.L., Sahari B.B. [et. al.] (2004) Bending behavior of corrugated web beams. *Journal of Materials Processing Technology*. 2004. Vol. 150. Issue 3. Pp. 242-254.
31. Eldib M.E.A.-H. (2009) Shear buckling strength and design of curved corrugated steel webs for bridges. *Journal of Constructional Steel Research*. 2009. Vol. 65. Issue 12. Pp. 25-27.
32. Wakchaure M.R., Sagade A.V. (2012) Finite Element Analysis of Castellated Steel Beam. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)* 2012. Vol. 2. Issue 1. Pp. 365-367.
33. Ezzeldin Yazeed Sayed-Ahmed. (2007). Design aspects of steel I-girders with corrugated steel webs. *Electronic Journal of Structural Engineering*. Issue 7. Pp. 27-30.
34. Elgaaly, M., Seshadri, A., Hamilton, W. (1997). Bending strength of steel beams with corrugated webs. *Journal of Structural Engineering*. Vol. 123. Issue 6. Pp. 772–782,
35. Schafer, B.W., Peköz, T. (1999). "Laterally Braced Cold-Formed Steel Flexural Members with Edge Stiffened Flanges. *Journal of Structural Engineering*. Vol. 125. Issue2.
36. Driver RG, Abbas HH, Sause R. (2006) Shear behavior of corrugated web bridge girder. *Journal of Structural Engineering*. 2006. Vol. 132. Issue 2. Pp. 195-203.

Benefits and specifics of using corrugated beam in construction

D.D. Zaborova¹, J.P. Dunaevskaya²

^{1,2}*Saint-Petersburg Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia*

ARTICLE INFO

Technical paper

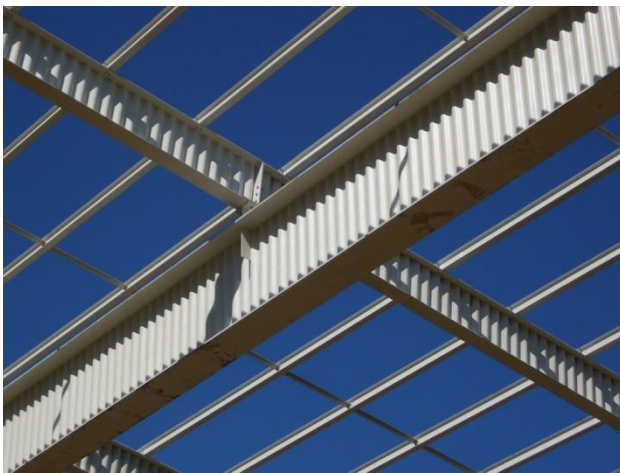
Article history

Received 26 March 2014
Accepted 7 July 2014

Keywords

construction,
sin-beam,
steel structure,
strength,
flexural strength.

ABSTRACT



Beam with a corrugated wall is a structure consisting of belts of arbitrary cross-section and a thin metal wall which is curved in the transverse direction. Currently such structures are used as beams, floors in multi-floor residential buildings, large-span beams covering in industrial buildings, dome design elements in administrative buildings. In this article we study the use of corrugated beam and its comparison with the classical I-beam. It is shown that the use of corrugated beam has a number of advantages and some disadvantages. Based on the research conclusions were made: Corrugated beams help to save material because of the reduced wall thickness and the curved shape. Strength of corrugated beams is only slightly above the strength of normal beams. Replacing conventional truss or I-beam with corrugated beam is not always possible.

¹ *Corresponding author:*

+7 (911) 180 6033, zaborova-dasha@mail.ru (Darya Dmitrievna Zaborova, B.Sc.)

²

+7 (981) 706 2268, juliadynaevskaya@gmail.com (Julia Pavlovna Dunaevskaya, B.Sc.)

1. Introduction

Corrugated beam (Sin-beam from the Latin *sinus* - bend) is a component of spans with wave crest outs and wide plate fins (figure 1). Corrugated beam is a welded girder. The upper and lower belts are made of steel with a thickness of 6 to 30mm. Belt width - from 160 to 400mm. Wall is a sinusoidal corrugation made of hot-rolled steel. The wall thickness is from 2.0 to 3.0 mm. Height of corrugated beams can be different (figure 2).

Now there is a challenge for the reduction in the cost of construction, so weighty sin-beams have my advantage, because saving the raw material is 10-30 % as compared with the conventional construction metal structures and up to 40 % - as compared with the flange beams and hot rolled beams, which reduces the final cost by 10-12 %.

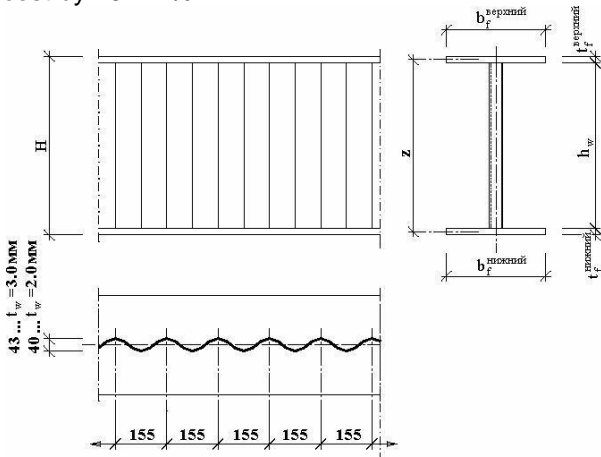


Figure 1. Drawing sin-beam [9]

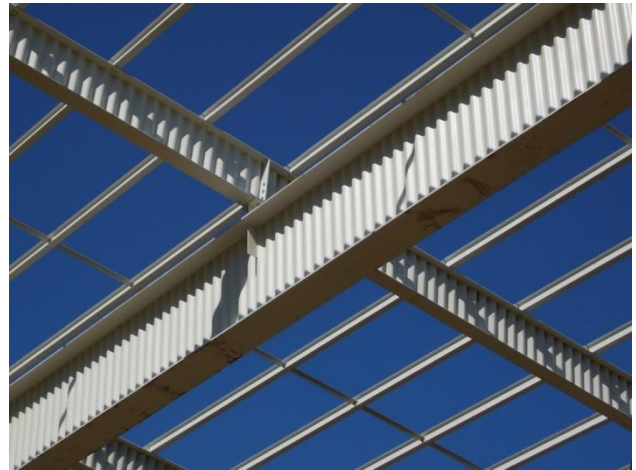


Figure 2. Sin-beam [15]

According to project documentation and design standards of steel structures for the manufacture of corrugated beams are welcome: for belts - hot rolled steel grade S255 GOST 27772 (according to GOST 14637); for wall - cold-rolled sheet steel St3sp according to GOST 16523. Using other structural materials is also possible, depending on the requirements of the order and normative-technical documentation for a particular type of product.

Corrugated beam as one of the "innovative materials" is recognized in the article [1].

Corrugated beam – is new design for Russia, although the world has already widely used.

In 1988, the Austrian company Zeman first opportunity to use its patented corrugated beams during the construction of the first shopping center of 55,000 square meters in Poland. Application corrugated beams not only allowed to meet the deadline, but also reduce the total weight of 700 tons of structures, i.e to 1400 instead of 2100 tons.

It is actively used in the EU.

"The basis of calculation of constructions made of corrugated beams lies EUROCODE 3: Design of steel structures; Part 1-1: General rules and rules for building», - Vatin N.I., Director of Institute of Civil Engineering.

2. literature Review

Investigation of bearing capacity of beams paid much attention [1-15]. Steel beams with corrugated wall are being actively used in various buildings [24]. The main drawback of the conventional straight wall, I-beam is the loss of local stability. In corrugated beams through undulating wall is no such problem. [6].

According to [23-26] profile wall corrugated beams can be of two types: trapezoidal and sinusoidal (figure 3) Just apply the corrugations with a triangular outline generator [7]. Each type of corrugation has its advantages and disadvantages. From the standpoint of ease of manufacture, the most beneficial corrugations forming a triangular outline, but in terms of the stability of the corrugated wavy wall preferred [6]. Especially for the main frames of single-storey steel buildings the use of corrugated web beams, mainly with sinusoidal corrugation, has been increased very much during the last years. Due to the thin web of 1,5 mm to 3 mm corrugated web beams afford a significant weight reduction compared with hot rolled profiles or welded I-sections [24].

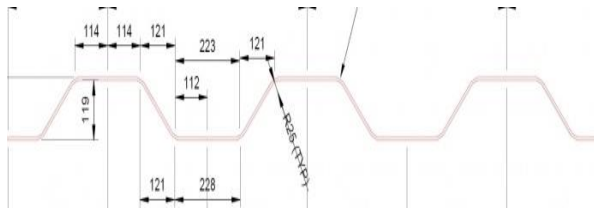


Figure 3.1 Trapezoidal Corrugation [2]

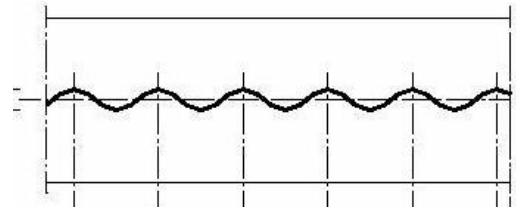


Figure 3.2 Sinusoidal Corrugation [2]

In the early 1960s, trapezoidal corrugated web beam used for metal structures and overpasses on highways in Europe and Japan since 1980 [24]. Corrugated beams can also be used in waterworks [23].

3. Objective

The aim of this work is to study the differences of strength characteristics corrugated beams from the classical I-beam. In this case, it is necessary to study the structure corrugated beams and to calculate the strength of both structures.

4. Application of corrugated beams

Corrugated beams are used:

1. as load-bearing structures in buildings (figure 4);
2. as the elements of bridge cranes (figure 5);
3. as the beams of roofs and ceilings (figure 6);
4. as a crane – beam.

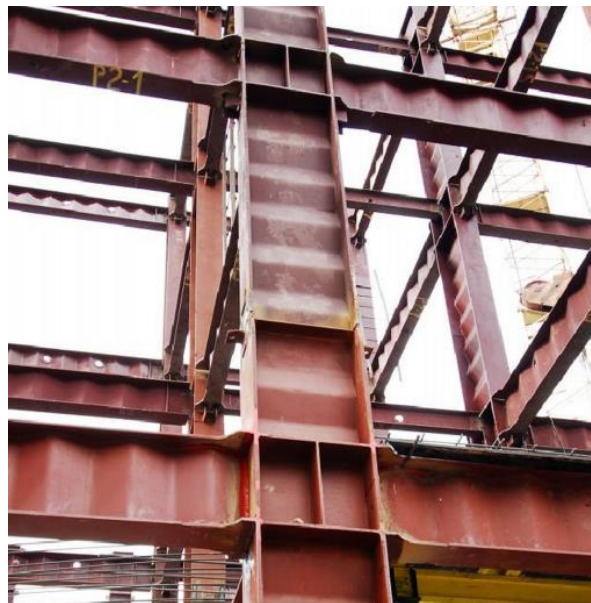


Figure 4. Multi-storey residential building in Almaty, Kazakhstan. The building frame is made of steel columns and beams with triangular-corrugated walls. Overlap of reinforced concrete. [6]



**Figure 5. Road bridge in Japan.
As a bridge span beams applied with trapezoidal corrugated-metal wall and concrete belts [6].**



**Figure 6. Parking ramp at the airport in Vienna, Austria.
As joists used steel beams with wavy-wall corrugated production company Zeman. [6]**

Nowadays, the production of corrugated beams - a continuous and automated process performance up to 20 thousand tons per year. At the beginning of the line comes from rolled steel uncoiler straightener in order to reduce stress, and then steel is cut into strips of a predetermined width and length. Next, enter the blanks alternately press profiling. Shelves are pressed against the ends of the corrugated wall with a hydraulic device. The geometry of the corrugated wall LSU, and then the junction between it and the shelf occurs welding two welding guns. Welding is only one hand, because the wall thickness is small. Desired fasteners already welded manually, then beam sanded, stained and dried.

5. Features of corrugated beams

Let us consider in more detail the features of corrugated beams:

1. Owing to the corrugated wall design effectively load a bending loads, and profiled elements (of the corrugated wall) are more resistant to long-term static load (shelves perceive bending moments and normal load, and corrugated walls perceive shear forces). Advantage over direct sinusoidal ribs is to eliminate the local strain, which is characteristic of flat plates.

The following is strength calculation of corrugated beams and compare it with the expectation of the classical strength I-beam. Take for example the corrugated beam WTA (B, C) - H - b x t,

where WT – the corrugated beam with sinusoidal corrugation of the wall; A (B, C) - wall thickness:

- A = 2.0 mm;
- B = 2.5 mm;
- C = 3.0 mm;
- H - height of the wall to be considered equal to 500;
- b - width of the belt: the minimum value is b = 170 mm;
- t - thickness of the belt:
- t = 15 mm;
- L-length;
- L = 6000mm.

The minimum length of the beams -4000 mm, maximum length - 12000 mm. Type, size and geometry of the cross-sections, the mass of 1 c / m of the corrugated beams correspond THAT 5261-001-43892121-2005.

WTB - 500 - 170 × 15, and take (for) calculate the classical I-beam with the same dimensions.

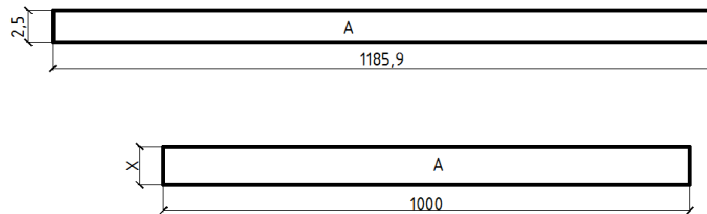


Figure 7. Area of one meter corrugated beams

Consider one meter corrugated beams.

Area must be equal, i.e $A = A$.

$$A = 2,5 * 1185,9 = 2964,75 \text{ мм}^2$$

$$\text{Consequently, } x = \frac{A}{100} = \frac{2964,75}{1000} = 2,965 \text{ мм}$$

Calculation is provided in tabular form for easy comparison.

Table 1. Strength calculation

	Normal I-beam.	Corrugated beam (sin-beam).
Initial data	<p>Figure 8.1. I-beam cross section. Product mix girders take number 50.</p>	<p>Figure 8.2. Corrugated cross-section beams. Product mix girders take number 50.</p>

	Normal I-beam.	Corrugated beam (sin-beam).
Moment of inertia	$I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12}; I_1 = 4,78 \text{ см}^4$ $I_2 = \frac{b \cdot h^3}{12}; I_2 = 270,323 \text{ см}^4$ l – moment of inertia $a_1 = 24,25 \text{ см}$ $a_2 = 11,75 \text{ см}$ $F_1 = 25,5 \text{ см}^2$ $F_2 = 5,875 \text{ см}^2$ F- area of rectangles $I_{oo} = 32134 \text{ см}^4 = 3,21 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4$	$I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12}; I_1 = 4,78 \text{ см}^4$ $I_2 = \frac{b \cdot h^3}{12}; I_2 = 320,66 \text{ см}^4$ l – moment of inertia $a_1 = 24,25 \text{ см}$ $a_2 = 11,75 \text{ см}$ $F_1 = 25,5 \text{ см}^2$ $F_2 = 6,968 \text{ см}^2$ F- area of rectangles $I_{oo} = 32566,11 \text{ см}^4 = 3,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4$
Conclusion:	The moment of inertia of corrugated beams more than usual, but not much. (More on 1,5%)	
Normal stress	Load. $q = 5 \frac{\kappa H}{\text{м}} = 0,05 \frac{\kappa H}{\text{см}}$ $\sigma = \frac{M}{W}; \sigma = 1,555 \cdot 10^{-6}$	Load. $q = 5 \frac{\kappa H}{\text{м}} = 0,05 \frac{\kappa H}{\text{см}}$ $\sigma = \frac{M}{W}; \sigma = 1,535 \cdot 10^{-6}$
Conclusion:	Since the moment of inertia is more corrugated beams and the load is the same, then the corrugated beams normal stress will be less than usual. (More on 2%)	
Radius of gyration	$i = \sqrt{\frac{I}{F}}$ $F = (F_1 + F_2) \cdot 2 = 62,75 \text{ см}^2$ $i = 22,64 \text{ см}$	$i = \sqrt{\frac{I}{F}}$ $F = (F_1 + F_2) \cdot 2 = 64,936 \text{ см}^2$ $i = 22,4 \text{ см}$
Conclusion:	Corrugated beam has radius of gyration smaller, so it will be more economical. (Less than 1,1%)	
Deflections	$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{EI} f = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ м}$	$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{EI} f = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$
Conclusion:	The moment of inertia of the corrugated beams is bigger, and the load is the same, then the deflection of the corrugated beams will be less than normal. (Less than 1%)	

2. Scope of application of of these beams is similar to a conventional I-beam / T-bars without structural constraints.

Currently, corrugated beams are used not only as rafters in coatings of one-storied buildings, but as a load-bearing structures of the domes, galleries and multi-storey buildings.

3. Total weight of building structures is reduced by 10-30%. In the manual A. Feinstein "Steel beams minimal weight" by the author were associated indicators of the weight, value, length, and weight (of the) directional metal 48 variants of beams, flat and corrugated walls. The comparison showed that the welded I sections with a corrugated wall more economical consumption of steel on 9-27% than welded I sections flat wall, in all 48 variants [24]. Such savings is realized by reducing the thickness of the wall corrugated beams.

4. Sin-beams should be used in «disputed» spans buildings. The reality is that during the beam span up to 8 - 9 meters good to use classic beams. In spans from 9 to 15 meters classic beams to use is not efficient because it uses a lot of extra material. The truss is also not optimal for such span, it increases construction height, that is not always good. Therefore, in such cases the best solution for the designer is the use corrugated beams, for the production of these corrugated beams need less material), they give less of a load on the structure and do not increase the building height.

5. Fast speed of construction, ease of assembly and ease of delivery to the site.

Automated lines allow reducing expensive and time-consuming preliminary process of Assembly and welding of corrugated beams. Compared to the ones they are easier to install and are delivered to the object.

6. The Sin-beam can be used as a design element.

Such beams can be an architectural element of the room due to original appearance, but due to the wavy wall, dust and dirt settles on flutes and this design is difficult for cleaning. This significantly reduces the environmental friendliness of the room and the aesthetic appearance.

7. Savings on heating.

Because beams with a corrugated wall construction save height compared with the truss, the heated volume of the building will be less.

8. This type of beam is the more expensive in the manufacture.

The set of equipment required for the production, as well as permit for the purchase of such line of the company Zeman, much more expensive than production of brand products.

9. Do not use this type of beams as columns.

When operated of the beams at the compression, strength characteristics of this design, made of corrugated beams worse than the design, made from ordinary beam.

10. Construction regulations don't have information about the corrugated beam, so it complicates the process of designing and many designers refuse to work with this type of beams.

In connection with introduction the assortment of the effective welded double-tee profiles with corrugated walls, in 2007 on the territory of Kazakhstan RDS RK 5.04-24-2006, the area of application of such beams in the Republic is much increased.

Adaptation of this technical document for the Russian Federation or the development of new building standards and rules corrugated beams more readily applied in construction on the territory of Russia.

6. Conclusions

It may be concluded that using corrugated beams is advisable not in all cases. The main criteria of the project work in addition to strength and reliability should be taking into account economic efficiency, the choice of building constructions and materials should be undertaken with great attention. As soon as the cost of the corrugated beams will be decreased and will appear technical documentation, you can think about the broader use of corrugated beams for modern construction on the territory of Russia.

References

1. Cherezova N. *Investicii v budushhee* [Investing in the Future]. *Baltijskij Gorizont*. Issue 2. Vol. 10. 2013. Pp.6-9. (rus)
2. Katjushin V.V. (2012). *Optimizacija dvutavrovnyh sechenij ramnyh konstrukcij* [Optimization of I-section frame structures]. *Zhurnal Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*. Izdatel'stvo: OAO «Nauchno-issledovatel'skij centr «Stroitel'stvo» (Moskva) 2012. Pp. 22-23. (rus)
3. Poltoradnev A.S. (2013). *Nesushhaja sposobnost' i optimizacija stal'nyh tonkostennyh balok* [Bearing capacity and optimization of thin-walled steel beams]. *Dissertacija (Kod special'nosti VAK 05.23.01). Special'nost': Stroitel'nye konstrukcii, zdaniya i sooruzhenija,g. Moskva*. 2013. Pp. 57-60. (rus)
4. Il'ina A.A. (2004). *Prochnost' i ustojchivost' stal'nyh izgibaemyh jelementov s reguljarnoj i nereguljarnoj shahmatnoj perforaciej stenki* [Strength and stability of steel flexural members with regular and irregular checkerboard wall perforation]. *Dissertacija (Kod special'nosti VAK 05.23.01).Special'nost': Stroitel'nye konstrukcii, zdaniya i sooruzhenija.g. Vladimir*. 2004. Pp. 3-4. (rus)
5. *Metallicheskie konstrukcii pod red. V.V. Goreva* [Metal Constructions] Vol. 1, 2001. Pp. 294-303. (rus)
6. Kudrjavcev S.V. (2007) *Raschet dvutavrovoj balki s gofrirovannoj stenкой na izgib v svoej ploskosti pod dejstviem staticheskikh nagruzok (Chast' 1: Metodika Rascheta)* [Calculation of H-beam with corrugated wall bending in the plane under the action of static loads(Part 1: Methods of Calculation)]. *GOU VPO «Ural. Gos. Tehn. Un-t-UPI».* Ekaterinburg, 2007. 17 s.: il. Bibliogr.: 20 nazv. Rus. Dep. V VINITI 20.07.07, Issue 749-V2007. Pp. 33-34. (rus)
7. Kudrjavcev S.V. (2007). *Raschet dvutavrovoj balki s gofrirovannoj stenкой na izgib v svoej ploskosti pod dejstviem staticheskikh nagruzok (Chast' 2: Metodika Rascheta)* [Calculation of H-beam with corrugated wall bending in the plane under the action of static loads (Part 2: Methods of Calculation)]. *GOU VPO «Ural. Gos. Tehn. Un-t-UPI».* Ekaterinburg, 2007. 17 s.: il. Bibliogr.: 20 nazv. Rus. Dep. V VINITI 20.07.07, Issue 749-V2007, Pp. 250-258. (rus)
8. Solov'ev A.V., Lukin A.O., Alpatov V.Ju. [et. al.] (2012). *Uchet osobennostej raboty balok s gofrirovannoj stenкой v raschetah na stesnennoe kruchenie* [Accounting features of beams with corrugated wall in the calculations on the con-strained torsion]. *Vestnik MGSU*. 2012. Issue 11, Pp.-105-112. (rus)
9. Ostrikov G.M., Maksimov Ju.S., Dolinskij V.V. (1983) *Issledovanie nesushhej sposobnosti stal'nyh dvutavrovnyh balok s vertikal'no gofrirovannoj stenкой* [Research on carrying capacity of steel I-beams with vertically corrugated wall]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*. 1983. Issue 1. Pp. 68-70. (rus)
10. Baranovskaja S.G. (1990). *Prochnost' i ustojchivost' gofrirovannoj stenki stal'noj dvutavrovoj balki* [Strength and stability of the corrugated wall of steel I-beam]. *Avtoref. Dis. Kand. Teh. Nauk. Novosibirsk*, 1990. 20 p. (rus)
11. Ubajduloev M.N. (2013) *Bearing capacity operated facilities. Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. Vol.9. Issue 4. 15 p. (rus)
12. Broude B.M., Moiseev V.I. (1982) *Ustojchivost' prjamougol'nyh plastinok s uprugim zashhemeniem prodol'nyh storon* [Stability of rectangular plates with elastic pinching longitudinal sides]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*. 1982. Issue 1. Pp. 39-42. (rus)
13. Vlasov V.Z. (1961) *Tonkostennye uprugie sterzhni* [Thin-walled elastic rods].*Fizmatizdat*, 1961. 568 p. (rus)
14. Vol'mir A.S. (1967) *Ustojchivost' deformiruemyh system* [Stability of Deformable Systems]. 1967. 984 p. (rus)
15. Dolinskij V.V. (1985). *Stal'nye dvutavrovnye rigeli s gofrirovannoj stenкой v sejsmostojkikh mnogojetaznyh ramnyh karkasah* [Steel I-girders with corrugated wall in earthquake-resistant multi-storey frame structure]. *Avtoref. Dis. kand. Teh. Nauk. Novosibirsk*, 1985. 22 p. (rus)
16. Maksimov Ju.S., Ostrikov G.M. (1987) *Legkie stal'nye konstrukcii pokrytij proizvodstvennyh zdaniy* [Light steel structure industrial coatings]. *Jekspress-informacija*. Alma-Ata: KazCNTIS Gosstroja Kazahskoj SSR, 1987. 41 p. (rus)
17. *Metallicheskie konstrukcii. Spravochnik proektirovshhika* [Metal Constructions. Directory designer]. M.: ASV, 1998. Vol.2: *Stal'nye konstrukcii zdaniy i sooruzhenij. Pod. Obshh. Red. V.V. Kuznecova*, 1998. 512. p. (rus)
18. Stepenenko A.N. (1972) *Issledovanie raboty metallicheskih balok s tonkimi gofrirovannymi stenkami pri staticheskom zagruzenii* [Investigation of metal beams with thin corrugated walls under static uploading]. *Dis. kand. Teh. Nauk. Sverdlovsk*, 1972. 151 p. (rus)
19. *Balki s gofrirovannoj stenкой. Tehnicheskaja dokumentacija* [Beams with corrugated wall. technical documentation]. Avstrija: Zeman&Co GesellschaftmbH.,1993. 14.p. (rus)

20. Kudishin Ju.I., Bedenja E.I., Ignat'eva V.S. *i dr. Metallicheskie konstrukcii* [Metal Constructions]. 8-e izd., pererab. I dop. M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2006. Pp. 688. (rus)
21. SNiP 2-23-8*. *Stal'nye konstrukcii* [SNiP 2-23-8*. Steel structures].
22. Rogalevich V.V., Kudrjavcev S.V. (2008) *Koncentracija naprjazhenij vblizi krugovyh otverstij v gofirovannyh stenkah balok* [Stress concentration around the hole in the corrugated wall beams]. *Izvestija VUZov. Stroitel'stvo*. 2008. Issue 11. Pp. 8-13. (rus)
23. Bal'zannikov M.I., Holopov I.S., Solov'ev A.V. [et.al.] (2013). *Primenenie stal'nyh balok s gofirovannoju stenkoi v gidrotehnicheskijh sooruzhenijah* [The use of steel beams with corrugated wall of the waterworks in]. *Vestnik MGSU*. 2013. 34 p. (rus)
24. Fajnshtejn A.A. *Stal'nye balki minimalnogo vesa* [Steel beams minimum weight] // *Spravochnoe posobie, g. Sankt-Peterburg, izdatel'stvo Politehnicheskij Universitet*, 2007. 95 p.
25. Pasternak H., Kubieniec G. (2010) Plate girders with corrugated webs. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2010. Vol. 16. Issue 2. Pp. 166—171.
26. Sayed-Ahmed E. Y. (2005) Lateral torsion-flexure buckling of corrugated web steel girders. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structures & Buildings*. 2005 Issue SB1. Pp. 53—69.
27. Zhang. W, Y. Li, Q. Zhou, [et. al.] (2000) Optimization of the structure of an H-beam with either a flat or a corrugated web. Part 3. Development and research on H-beams with wholly corrugated webs, *J. Mater. Process. Technol.* Vol.101. Issue 1. 2000. Pp. 119—123.24.
28. Abbas HH, Sause R, Driver RG. (2006) Behavior of corrugated web I-girders under in- plane loading. *Journal of Structural Engineering ASCE* 2006. Vol. 132. Issue 8. Pp. 806-814.
29. Basher M., Shanmugam N.E., Khalim A.R. (2011) Horizontally curved composite plate girders with trapezoidally corrugated webs. *Journal of Constructional Steel Research*. Vol. 67. Issue 6. 2011. Pp. 947-956.
30. Khalid Y.A., Chan C.L., Sahari B.B. [et. al.] (2004) Bending behavior of corrugated web beams. *Journal of Materials Processing Technology*. 2004. Vol. 150. Issue 3. Pp. 242-254.
31. Eldib M.E.A.-H. (2009) Shear buckling strength and design of curved corrugated steel webs for bridges. *Journal of Constructional Steel Research*. 2009. Vol. 65. Issue 12. Pp. 25-27.
32. Wakchaure M.R., Sagade A.V. (2012) Finite Element Analysis of Castellated Steel Beam. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)* 2012. Vol. 2. Issue 1. Pp. 365-367.
33. Ezzeldin Yazeed Sayed-Ahmed. (2007). Design aspects of steel I-girders with corrugated steel webs. *Electronic Journal of Structural Engineering*. Issue 7. Pp. 27-30.
34. Elgaaly, M., Seshadri, A., Hamilton, W. (1997). Bending strength of steel beams with corrugated webs. *Journal of Structural Engineering*. Vol. 123. Issue 6. Pp. 772—782,
35. Schafer, B.W., Peköz, T. (1999). "Laterally Braced Cold-Formed Steel Flexural Members with Edge Stiffened Flanges. *Journal of Structural Engineering*. Vol. 125. Issue 2.
36. Driver RG, Abbas HH, Sause R. (2006) Shear behavior of corrugated web bridge girder. *Journal of Structural Engineering*. 2006. Vol. 132. Issue 2. Pp. 195-203.