



Эффективность применения двутавров с гофрированными стенками в производственных зданиях

А.А. Брянцев^{1*}, В.Э. Абсиметов², В.В. Лалин³

¹ Казахская Главная Архитектурно-Строительная Академия, 050043, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Рыскулбекова, 28.

² ТОО "АстанаСтройКонсалтинг", Казахстан, г. Астана, 010000, ул. Брусиловского 17/3.

³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

doi: 10.18720/CUBS.54.8

ИСТОРИЯ

Подана в редакцию: 06.02.2017

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

гофрированная двутавровая балка;
эффективность;
экономическая выгода;
производственный корпус;
анализ.;

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена исследованию экономической выгоды и целесообразности замены основных конструкций (колонны, подкрановые балки, балки покрытия, прогоны) из горячекатаных двутавров с параллельными гранями полок производственного корпуса с мостовым краном грузоподъемностью Q–5т на сварные двутавры с гофрированными стенками. Основная задача данной статьи - это обоснование эффективности применения двутавров с гофрированными стенками в зданиях производственного назначения. Рассмотрен расчет каркаса производственного корпуса, выполненный в программном комплексе ЛИРА САПР-2015. Представлены результаты расчета, а именно графики максимальных перемещений от действия нагрузок. Выполнена проверка прочности принятых сечений конструктивных элементов производственного корпуса при заземлении схемы в уровне обреза фундамента по первому и второму предельному состояниям. Выполнен сравнительный анализ стальных горячекатаных двутавров с параллельными гранями полок и сварных двутавров с гофрированными стенками по критериям: масса и стоимость. Была доказана экономическая эффективность применения двутавровых балок с гофрированными стенками. Экономия по массе металла на всё здание производственного корпуса и уменьшение стоимость конструкций – это основные итоги данной статьи.

Содержание

1.	Введение	94
2.	Обзор литературы	94
3.	Цели статьи	94
4.	Преимущества и недостатки применения балок с гофрированными стенками	94
5.	Расчет производственного корпуса	95
6.	Основные результаты расчета	96
7.	Сравнительный анализ	97
8.	Выводы	99

Контактная информация:

- 1 * +7(777)9618571, Bryancev8989@mail.ru (Брянцев Александр Александрович, докторант)
2 +7(701)5112106, Absimetov47@mail.ru (Абсиметов Владимир Эскендерович, д.т.н., генеральный директор)
3 +7(921)3199878, vlalin@yandex.ru (Лалин Владимир Владимирович, д-р техн. наук)

1. Введение

Гофрированная двутавровая балка – это балка, пояса которой выполнены из металла произвольного сечения и гофрированной (изогнутой) стенки в поперечном направлении. У балок гофрированные стенки могут быть с треугольным профилем гофрирования, волнистым, трапециевидным, прямоугольным и т.д. (рисунок 1). Пояса таких балок выполняются из прокатной стали, гнутых профилей, электросварных труб, железобетонных элементов [1].

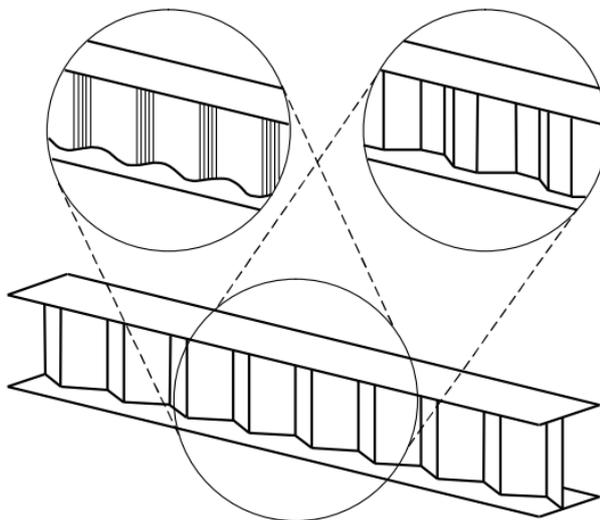


Рисунок 1. Гофрированная двутавровая балка

2. Обзор литературы

Эффективность работы строительных конструкций выполненных из двутавровых балок с гофрированной стенкой была не однократно отмечена [1–15]. Построенный в 1986 г. во Франции автомобильный мост «Согнас bridge» послужил толчком к использованию балок с гофрированными стенками в мостостроении [21,22,24]. В 1986 г. в г. Алма-Ата Казахским институтом ЦНИИП Проектстальконструкции была разработана конструкция покрытия для здания производственного корпуса [24–26]. Тем же институтом с 1986 по 2006 гг. были разработаны проекты различных зданий, таких как: аэропорт в г. Ашхабад, многоэтажный административный мясокомбинат в г. Алматы, разработаны подкрановые балки для склада сырья цементного завода под краны с режимом работы 6К, сооружения эстакад для трубопроводов, купольная конструкция офисного 11-ти этажного здания, торговый центр, жилой 9-ти этажный дом в г. Алматы, ангар для самолетов и т.д.[11].

Так 2006 г. фирма «Zetap» установила в автоматизированную линию на заводе «Метаком», г. Самара, ОАО «Аэропортстрой» в г. Санкт-Петербурге, «РПС-Модуль» в г. Москве, а в 2010г. «Мечел-Сервис» в г. Кинель [22].

3. Цели статьи

1. Выполнить анализ расчета производственного корпуса мостовым краном в программно-расчетном комплексе с целью замены каркаса из стандартных двутавров на двутавры с гофрированной стенкой, для выявления объективной оценки применения гофрированных балок.
2. Доказательство либо опровержение выгоды использования гофрированных балок.
3. Подсчет экономической выгоды и целесообразности использования балок.

4. Преимущества и недостатки применения балок с гофрированными стенками

Основные преимущества использования конструкций с гофрированными стенками:

Толщина стенки балки в 2-4 раза меньше обычных балок, что приводит к экономии стали до 30%;

Отсутствует необходимость в установке поперечных ребер жесткости, за исключением опорных и мест приложения значительных нагрузок, что снижает трудоемкость на изготовление до 25%;

Местная устойчивость и крутильная жесткость балок с гофрированными стенками больше чем у обычных балок;

Снижение массы металла по сравнению с обычными балками до 20-25%;

Эффективность применения в большепролетных зданиях за счет высокой несущей способности;

Возможность использования гофрированных балок как элемент дизайна либо в сочетании с другими элементами декора.

Основные недостатки конструкций с гофрированными стенками:

Недостаток нормативной литературы для возможности улучшения процесса проектирования подобных конструкций;

Отсутствие специальных расчетных программ для расчета гофрированных конструкций;

Увеличение затрат на производство гофрированных конструкций за необходимости специального оборудования для их изготовления.

5. Расчет производственного корпуса

Исходные данные

Конструктивная схема здания представляет собой каркас рамного типа, состоящий из горячекатаных двутавровых колонн и балок.

Проектируемое здание имеет в плане прямоугольную форму, длина здания – 84 м, ширина – 60 м., в пролете 1 этажное, без подвала. Шаг колонн в продольном направлении 12 м., в поперечном – 6 м. Здание разделено сейсмическим швом на два отсека, в каждом отсеке предусмотрено 5 мостовых кранов грузоподъемностью Q-5 т. Проектируемое здание располагается в г. Алматы.

Согласно СНиП 2.01.07-85 и СНиП РК 2.04-01-2010:

Климатический район – IV.

Район по весу снегового покрова – II; s_0 , кПа (кгс/м²) = 0,70 (70).

Район по давлению ветра – IV; ω_0 , кПа (кгс/м²) = 0,48 (48).

Сбор нагрузок

Собственный вес автоматически учитывается программным комплексом «ЛИРА-САПР 2015».

От стеновых и кровельных сэндвич панелей задана равномерно распределенная нагрузка на колонны и прогоны, соответственно. Размеры панелей: $l=12000$ мм, $b=1000$ мм, $t=150$ мм., масса панели – 320 кг; $l=6000$ мм, $b=1000$ мм, $t=150$ мм., масса панели – 160 кг.

Вес одного крана грузоподъемностью Q-5 т, согласно ГОСТ 25711-83 составляет 5 т, вес тележки крана 2 т. Максимальное давление на подкрановую балку вычислено по формуле $R_2 = 2N$, где N – давление от одного колеса ходовой части крана и равно 7.95 т.с.

Полное расчетное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия S определялись по формулам [22] и равно 0.108 т/м².

Значения сейсмических нагрузок, соответствующих каждой форме собственных колебаний, вычислены согласно положениям строительных норм Казахстана по [22] картам общего сейсмического районирования для г. Алматы, составляют 9б. и более.

Жесткости конструкций.

Для основных несущих конструкций здания приняты следующие жесткости: для колонн – колонный двутавр 30К2; для балок покрытия – нормальный двутавр 45Б2; для подкрановых балок – широкополочный двутавр 30Ш2, для прогонов – нормальный двутавр 20Б1. (В дальнейшем анализе не рассматриваются

жесткости следующих конструкций: вертикальные продольные связи, вертикальные поперечные связи, связи по покрытию, столбчатые фундаменты). Жесткости конструкциям назначены по [31].

Расчет здания

Расчет производственного корпуса выполнен с помощью ПК «ЛИРА-САПР 2015». Общий вид расчётной модели показан на рисунке 2. Данный комплекс реализует метод конечных элементов в перемещениях, на вертикальные (постоянные, временные) и особые нагрузки в соответствии со строительными нормами, действующими на территории РК.

Подготовка исходных данных осуществлялась в графоаналитическом виде программой Лир-ВИЗОР, входящей в ВК Лира-Windows, с последующей генерацией файла для расчета, что практически исключило возможность появления случайных ошибок. Сооружение рассчитано по двум группам предельных состояний на статические и динамические нагрузки с целью определения сечения металлических элементов при наиболее невыгодном сочетании нагрузок.

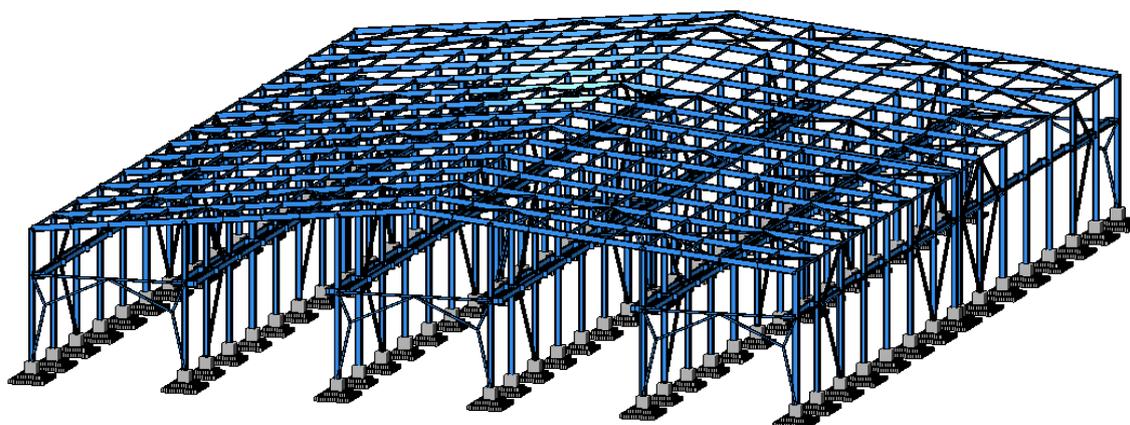


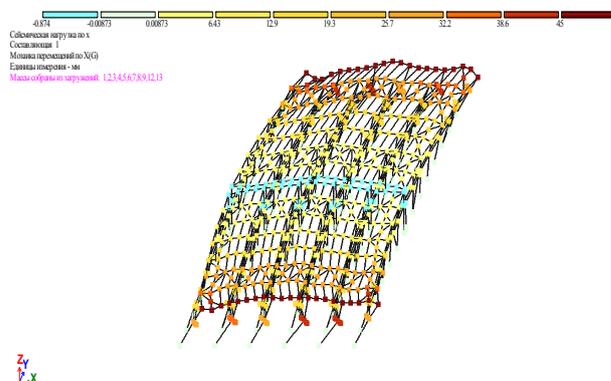
Рисунок 2. Общий вид производственного корпуса

6. Основные результаты расчета

Мозаика перемещений в глобальной системе

На рисунке 3 представлена мозаика максимальных перемещений. Максимальные перемещения в расчете от действия сейсмической нагрузки и нагрузки от кручения.

Сейсмическая нагрузка по оси x



Нагрузка на кручение по оси x

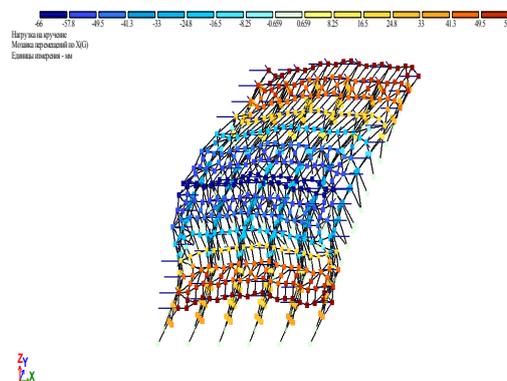
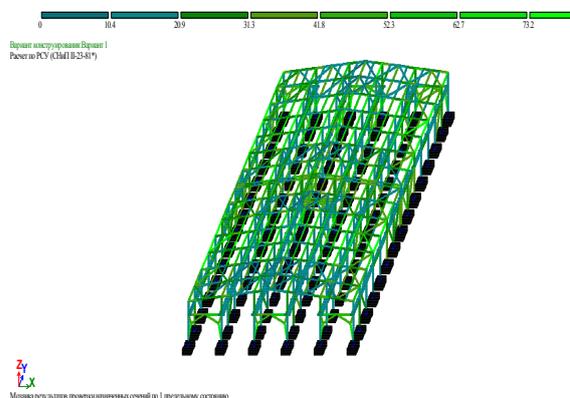
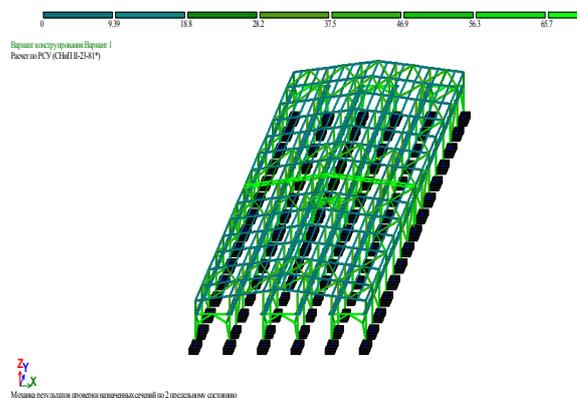


Рисунок 3. Мозаика перемещений по оси X

Проверка прочности принятых сечений конструктивных элементов производственного корпуса (рисунок 4,5). Результаты расчета (Лири СТК) Проверка при защемлении схемы в уровне обреза фундамента.



**Рисунок 4. Проверка. Расчет по РСУ
(1-ое предельное состояние)**



**Рисунок 5. Проверка. Расчет по РСУ
(2-ое предельное состояние)**

Выводы.

Выполненные расчёты показывают, что при заданных исходных параметрах производственного корпуса с мостовыми кранами грузоподъёмностью Q-5т по первой группе предельных состояний запас прочности обеспечен на 16,4%, по второй группе предельных состояний запас прочности обеспечен на 24,9%.

7. Сравнительный анализ

По соотношению размеров и форме профиля сварные двутавры с гофрированными стенками подразделяются на три типа:

БГС – предназначенные для прямой замены двутавров стальных горячекатаных с параллельными гранями полок типа «Б»;

ШГС – предназначенные для замены двутавров стальные горячекатаные с параллельными гранями полок типа «Ш»;

КГС – предназначенные для замены двутавров стальные горячекатаные с параллельными гранями полок типа «К» [30].

Для замены одного профиле – размера прокатного двутавра внутри каждого типа сварных двутавров с гофрированными стенками подбираем профиле-размеры, исходя из условий обеспечения каждым вариантом следующих критериев:

Вариант 1 – Сечение сварного двутавра с гофрированной стенкой подобрано из условия достижения равенства или превышения момента сопротивления $W_x^{\text{гофр}} \geq W_x^{\text{прокат}}$ при максимальной экономии стали в сравнении с базовым прокатным двутавром и выполнении следующих ограничений – гибкость гофрированной стенки ($\lambda_w = h_w/s$) не должна превышать 500, радиус инерции i_y сжатой полки из плоскости двутавра с гофрированной стенкой должен быть равен или больше радиуса инерции i_y базового прокатного двутавра. Такие сварные двутавры с гофрированной стенкой имеют общую высоту в 1,5 – 2,5 раза большую, чем высота базового прокатного профиля.

Вариант 2 – Сечение сварного двутавра с гофрированной стенкой подобрано из условия достижения равенства или превышения момента сопротивления $W_x^{\text{гофр}} \geq W_x^{\text{прокат}}$, $W_y^{\text{гофр}} \geq W_y^{\text{прокат}}$, при максимальной экономии стали в сравнении с базовым прокатным двутавром и выполнении следующих ограничений – гибкость гофрированной стенки ($\lambda_w = h_w/s$) не должна превышать 500, радиус инерции i_y сжатой полки из плоскости двутавра с гофрированной стенкой должен быть равен или больше радиуса инерции i_y базового прокатного двутавра. Такие сварные двутавры с гофрированной стенкой имеют общую высоту на 10-35 % большую, чем высота [30].

Так двутавр стальной горячекатаный с параллельными гранями полок 30К2 заменен на соответствующий по прочностным характеристикам двутавр сварной с гофрированной стенкой 35/54КГС2; двутавр с параллельными гранями полок 45 Б2 на двутавр сварной с гофрированной стенкой 50/64БГС1; двутавр с параллельными гранями полок 30 Ш2 на двутавр сварной с гофрированной стенкой 30/36ШГС1; двутавр с параллельными гранями полок 20Б1 на двутавр сварной с гофрированной стенкой 20/25БГС1 в соответствии с таблицами 4,5,6 по [30].

Полученные данные сравнительного анализа результатов прокатных и гофрированных конструкций сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ основных характеристик прокатных и гофрированных конструкций.

Характеристики	Колонны		Балки покрытия		Подкрановые балки		Прогоны	
	30К2	35/54/КГС2	45Б2	50/64БГС1	30Ш2	30/36ШГС1	20Б1	20/25БГС1
Момент сопротивления W_x	1361	2348	1486,8	1516,8	827	954,7	184,4	191,9
Момент сопротивления W_y	450,3	477,9	158,8	160	173,7	211,6	26,8	33,8
Радиус инерции i_x	20411	61505	33453	47930	12200	16616,4	1844	2360,1
Радиус инерции i_y	6754,5	7646	1580	1600	1737	2433,4	133,9	219,7
Масса 1 п.м. металла, кг	94	87	76	50,46	68,6	57,06	21,3	16,46
Экономия материала на 1 п.м. металла, %		7,4		33,6		16,8		22,7
Стоимость 1 п.м., тн.	308		256		322		264	

На рисунке 6 показан график зависимости расхода металла от стоимости для двух вариантов двутавров производственного корпуса.

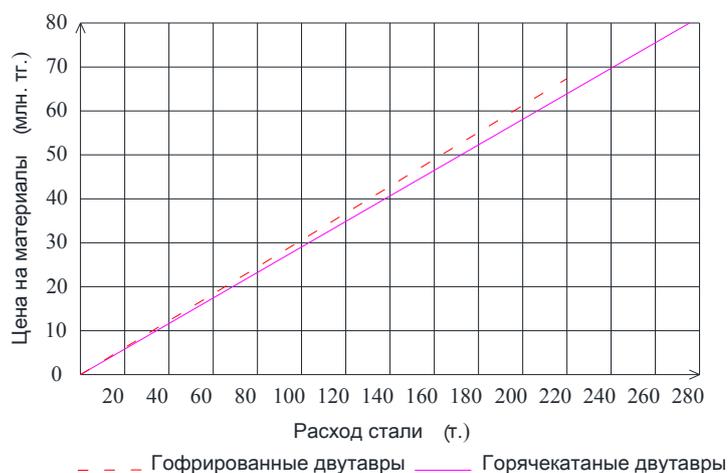


Рисунок.6 Расход стали и стоимость материалов при двух вариантах конструкций производственного корпуса.

8. Выводы

При статическом расчете производственного корпуса в программном комплексе ЛИРА САПР-2015 для колонн был подобран горячекатаный двутавр с параллельными гранями типа 30К2, для конструкций балок покрытия – горячекатаная двутавровая балка с параллельными гранями типа 45Б2, для подкрановых конструкций – горячекатаная широкополочная двутавровая балка с параллельными гранями типа 30Ш2, для конструкций прогонов – горячекатаная двутавровая балка с параллельными гранями типа 20Б1. После соответствующих расчетов на статические и динамические загрузки прочность по первому и второму предельному состоянию, а также устойчивость данных конструкций были обеспечены. В целях экономии материала и уменьшении веса здания, было принято решение о замене прокатных балок на сварные двутавры с гофрированными стенками.

Сравнительный анализ экономической эффективности прокатных и гофрированных конструкций сведен в таблицу 2.

Таблица 1. Результаты сравнительного анализа экономической эффективности прокатных и гофрированных конструкций.

Характеристики	Колонны		Балки покрытия		Подкрановые балки		Прогоны	
	30К2	35/54/КГ С2	45Б2	50/64БГ С1	30Ш2	30/36ШГС1	20Б1	20/25БГС1
Масса 1 п.м. металла, кг	94	87	76	50,46	68,6	57,06	21,3	16,46
Общая длина конструкций, м	1100	1100	960	960	820	820	1743	1743
Масса конструкций корпуса, кг.	103400	95700	72960	48442	56252	46789	37126	28690
Стоимость 1т. металла, тыс. тенге	300		300		300		300	
Общая масса прокатных двутавров, т.	269,738							
Общая масса гофрированных двутавров, т.	219,621							
Общая стоимость прокатных двутавров, млн. тенге	80,92							
Общая стоимость гофрированных двутавров, млн. тенге	65,88							
Экономия в денежных ресурсах, млн. тенге	15,04							
Экономия по массе, %	18,6							

Балки–двутавры с гофрированной стенкой в качестве несущих конструкций имеют ряд очевидных плюсов. Из–за гофрирования стенки, которая служит диафрагмой жесткости, эти элементы имеют крутильную жесткость, что дает преимущество при проектировании зданий большой длины (более 30м). Подводя итоги можно утверждать, что была выявлена явная экономическая выгода применения двутавровых балок с гофрированными стенками, было и замена несущих элементов, в частности, таких как прокатная балка и двутавр, на балку с гофрированной стенкой является эффективной с точки зрения уменьшения массы конструкций.

Экономия по массе металла на все здание производственного корпуса составляет 18%, что существенно влияет на стоимость конструкций в общем.

Цена на двутавровые балки с плоской и гофрированной стенками на территории Казахстана идентичная.

Применение балок с гофрированной стенкой эффективно как с конструктивной точки зрения, так и с экономической.

Литература

- [1]. Кудрявцев С.В. Несущая способность балок с гофрированной стенкой, ослабленной круговым отверстием: автореф. дис. канд. техн. наук. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. 22 с.
- [2]. Соловьев А.В., Лукин А.О., Алпатов В.Ю. Анализ эффективности применения двутаврового элемента с гофрированной стенкой при работе в сложном напряженно– деформированном состоянии // Промышленное и гражданское строительство, 2010. № 6. С. 27–30.
- [3]. Зубков В.А., Лукин А.О. Экспериментальные исследования влияния технологических и конструкционных параметров на несущую способность металлических балок с гофрированной стенкой // Вестник МГСУ, 2013. № 2. С. 37–46.
- [4]. Лукин А.О. К уточненному расчету напряженно – деформированного состояния балок с гофрированной стенкой // Строительная механика и расчет сооружений, 2013. № 5. С. 10–17.
- [5]. Крылов И.И., Кретинин А.Н. Эффективные балки из тонкостенных профилей // Известия вузов. Строительство, 2005. № 6. С. 11–14.
- [6]. Крылов И.И. Развитие конструктивной формы балочных систем из тонкостенных оцинкованных профилей // Известия ВУЗов. Строительство, 2007. № 2. С. 88–93.
- [7]. 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.
- [8]. Максимов Ю.С. Применение эффективных типов стальных конструкций покрытий зданий – важный резерв экономии металла и топлива // Экономика строительства, 1984. № 6. С. 48–50.
- [9]. Максимов Ю.С. Современные конструкции металлических каркасов многоэтажных зданий для сейсмических районов. М: ВНИИИС, 1983. 60 с.
- [10]. Максимов Ю.С. Исследование несущей способности стальных двутавровых балок с вертикально гофрированной стенкой // Строительная механика и расчет сооружений, 1983. № 1. С. 68–70.
- [11]. Максимов Ю.С. Легкие стальные конструкции покрытий производственных зданий // Экспресс информация. Алма–Ата: КазЦНТИС Госстроя КазССР, 1987. 41 с.
- [12]. Егоров П. Н. Исследование напряженно– деформированного состояния стальных балок и колонн из двутавра с тонкой гофрированной стенкой: дис. канд. техн. наук. Хабаровск: ТОГУ. 2010. 216 с.
- [13]. 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. № 749. С. 33–34.
- [14]. 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. № 749. С. 250–258.

- [15]. 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.
- [16]. Заборова Д.Д., Дунаевская Ю.П. Преимущества и особенности применения гофро–балки в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2014. № 7(22). С. 36–53.
- [17]. Столбов Н.В. Оценка эффективности применения балок с гофрированной стенкой в сравнении с обычными сварными балками // СиБАДИ, Омск. 2014. С 196–199.
- [18]. Полтораднев А.С. Вариация прочности отсеков при проектировании балок с плоской и гофрированной тонкой стенкой// Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ. Архитектура. Строительство. Транспорт, 2012. № 4. С. 175–179.
- [19]. Ольков Я.И., Полтораднев А.С. Расчет эффективных стальных балок в России и Европе // Известия Юго–Западного Государственного Университета. 2011. № 5–2. С.58–63
- [20]. Брянцев А.А., Жиенбаева А., Хван К. История развития гофрированных балок // Актуальные научные исследования в современном мире. Переяслав – Хмельницкий. 2016. № 10(18). С.6–9
- [21]. Брянцев А.А. Остапенко И.И. Особенности применения и работы балок с гофрированными стенками // Международная научно – практическая конференция. КазГАСА. Алматы. 2016. № 5.С.34–38
- [22]. ТУ 5261-002-77304466-2011. Балки двутавровые с поперечно гофрированными стенками. Екатеринбург: ООО «Мечел-Сервис». 2011.35 с.
- [23]. Абсиметов В.Э., Игнатъена В.С., Альменов К.С., Уразбеков М.Б. О рациональном размещении ребер жесткости в сварных двутавровых балках // Промышленное строительство. Стройиздат.Москва.1977. № 4.С.12–14.
- [24]. Abbas H.H. Analysis and design of corrugated web I- girders for bridges using high performance steel. Ph.D. dissertation. Lehigh University. Bethlehem, USA. 2003. 425 p.
- [25]. Driver R.G., Shear behavior of corrugated web bridge girders. Journal of Structural Engineering. 2006. Vol. 132. No. 2. Pp. 195–203.
- [26]. Elgaaly M. Bridge girders with corrugated webs. Transportation Research Record. 2000. Vol. 1696. Pp. 162–170.
- [27]. Elgaaly M., Seshadri A., Hamilton R.W. Bending strength of steel beams with corrugated webs. Journal of Structural Engineering. 1997. Vol. 123. No. 6. Pp. 772–782.
- [28]. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
- [29]. СНиП РК 2.03-30-2006 «Строительство в сейсмических районах».
- [30]. РДС РК 5.04-24-2006 «Сортамент сварных двутавровых профилей обычного типа с гофрированными стенками».
- [31]. СТО АСЧМ 20-93 «Прокат стальной сортовой фасонного профиля. Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок».

Effective application of I-beams with corrugated webs in the industrial building

A.A. Bryantsev^{1*}, V.E. Absimetov², V.V. Lalin³

¹ Kazakh Leading Academy of Engineering and Construction Inc., 28. street Ryskulbekov. Almaty. 050043. Republic of Kazakhstan

² "AstanaStroyKonsalting" LLP, 17/3, st. Brusilovskiy, Kazakhstan, Astana, 010000

³ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info

scientific article

doi: 10.18720/CUBS.54.8

Article history

Received 06.02.2017

Keywords

corrugated I-beam;
efficiency;
cost-effectiveness;
industrial building;
analysis;

ABSTRACT

This article is devoted to analysis of cost-effectiveness and reasonable replacement of basic structures (columns, crane beams, roof beams, bridge beams) of hot-rolled I-beams with parallel faces of flanges of the industrial building using the overhead crane, lifting capacity of Q–5t on welded I-beams with corrugated webs. The main objective of this article is to justify the effective application of I-beams with corrugated webs in the industrial buildings. Frame calculation of the industrial building performed in the software system LIRA SAPR–2015 has been considered. The results of calculation were presented, namely charts of maximum displacement from the load. The strength test of accepted sections of structural elements of the industrial building was conducted with the circuit jam at the basement cut level for the first and second limiting conditions. A comparative analysis of hot-rolled steel I-beams with parallel flange faces of welded I-beams with corrugated walls has been performed according to criteria: weight and costs. The cost-effectiveness of I-beams with corrugated webs was proved. Savings in terms of metal weight for the entire industrial building and reduced cost of structures are the main results of this article.

Contact information:

- ¹ * +7(777)9618571, Bryancev8989@mail.ru (Alexandr Bryantsev, Ph.D. Student)
² +7(701)5112106, Absimetov47@mail.ru (Vladimir Absimetov, Ph.D., CEO)
³ +7(921)3199878, vlalin@yandex.ru (Vladimir Lalin, Ph.D., Professor)

References

- [1]. Kudryavtsev S.V. Nesushchaya sposobnost balok s gofirovannoy stenкой, oslablennoy krugovym otverstiyem: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. – Yekaterinburg: UrFU, 2011. 22 s.
- [2]. Solovyev A.V., Lukin A.O., Alpatov V.Yu. Analiz effektivnosti primeneniya dvutavrovogo elementa s gofirovannoy stenкой pri rabote v slozhnom napryazhenno– deformirovannom sostoyanii // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo, 2010. № 6. S. 27–30.
- [3]. Zubkov V.A., Lukin A.O. Eksperimentalnyye issledovaniya vliyaniya tekhnologicheskikh i konstruktsionnykh parametrov na nesushchuyu sposobnost metallicheskikh balok s gofirovannoy stenкой // Vestnik MGSU, 2013. № 2. S. 37–46.
- [4]. Lukin A.O. K utochnennomu raschetu napryazhenno – deformirovannogo sostoyaniya balok s gofirovannoy stenкой // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy, 2013. № 5. S. 10–17.
- [5]. Krylov I.I., Kretinin A.N. Effektivnyye balki iz tonkostennykh profiley // Izvestiya vuzov. Stroitelstvo, 2005. № 6. S. 11–14.
- [6]. Krylov I.I. Razvitiye konstruktivnoy formy balochnykh sistem iz tonkostennykh otsinkovannykh profiley // Izvestiya VUZov. Stroitelstvo, 2007. № 2. S. 88–93.
- [7]. Ostrikov G.M., Maksimov Yu.S., Dolinskiy V.V. Issledovaniye nesushchey sposobnosti stalnykh dvutavrovyykh balok s vertikalno gofirovannoy stenкой // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy, 1983. № 1. S. 68–70.
- [8]. Maksimov Yu.S. Primneneniye effektivnykh tipov stalnykh konstruksiy pokrytiy zdaniy – vazhnyy rezerv ekonomii metalla i topliva // Ekonomika stroitelstva, 1984. № 6. S. 48–50.
- [9]. Maksimov Yu.S. Sovremennyye konstruksii metallicheskikh karkasov mnogoetazhnykh zdaniy dlya seysmicheskikh rayonov. M: VNIIS, 1983. 60 s.
- [10]. Maksimov Yu.S. Issledovaniye nesushchey sposobnosti stalnykh dvutavrovyykh balok s vertikalno gofirovannoy stenкой // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy, 1983. № 1. S 68–70.
- [11]. Maksimov Yu.S. Legkiye stalnyye konstruksii pokrytiy proizvodstvennykh zdaniy // Ekspres informatsiya. Alma–Ata: KazTsNTIS Gosstroya KazSSR, 1987. 41 s.
- [12]. Yegorov P. N. Issledovaniye napryazhenno– deformirovannogo sostoyaniya stalnykh balok i kolonn iz dvutavra s tonкой gofirovannoy stenкой: dis. kand. tekhn. nauk. Khabarovsk: TOGU. 2010. 216 s.
- [13]. Kudryavtsev S.V. Raschet dvutavrovoy balki s gofirovannoy stenкой na izgib v svoey ploskosti pod deystviyem staticheskikh nagruzok (Chast 1: Metodika Rascheta). GOU VPO «Ural. Gos. Tekhn. Un–t–UPI». Yekaterinburg, 2007. № 749. S. 33–34.
- [14]. Kudryavtsev S.V. Raschet dvutavrovoy balki s gofirovannoy stenкой na izgib v svoey ploskosti pod deystviyem staticheskikh nagruzok (Chast 2: Metodika Rascheta). GOU VPO «Ural. Gos. Tekhn. Un–t–UPI». Yekaterinburg, 2007. № 749. S. 250–258.
- [15]. Balzannikov M.I., Kholopov I.S., Solovyev A.V., Lukin A.O. Primneneniye stalnykh balok s gofirovannoy stenкой v gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh // Vestnik MGSU, 2013. S.34.
- [16]. Zaborova D.D., Dunayevskaya Yu.P. Preimushchestva i osobennosti primeneniya gofro–balki v stroitelstve // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy, 2014. № 7(22). S. 36–53.
- [17]. Stolbov N.V. Otsenka effektivnosti primeneniya balok s gofirovannoy stenкой v sravnenii s obychnymi svarnymi balkami // SibADI, Omsk. 2014. S 196–199.
- [18]. Poltoradnev A.S. Variatsiya prochnosti otketov pri proyektirovanii balok s ploskoy i gofirovannoy tonкой stenкой // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov SPbGASU. Arkhitektura. Stroitelstvo. Transport, 2012. № 4. S. 175–179.
- [19]. Olkov Ya.I., Poltoradnev A.S. Raschet effektivnykh stalnykh balok v Rossii i Yevrope // Izvestiya Yugo– Zapadnogo Gosudarstvennogo Universiteta. 2011. № 5–2. S.58–63
- [20]. Bryantsev A.A., Zhiyenbayeva A., Khvan K. Istoriya razvitiya gofirovannykh balok // Aktualnyye nauchnyye issledovaniya v sovremennom mire. Pereyaslav – Khmel'nitskiy. 2016. № 10(18). S.6–9

- [21]. Bryantsev A.A., Ostapenko I.I. Osobennosti primeneniya i raboty balok s gofrirovannymi stenkami // Mezhdunarodnaya nauchno – prakticheskaya konferentsiya. KazGASA. Almaty. 2016. № 5.S.34–38
- [22]. TU 5261-002-77304466-2011. Balki dvutavrovyye s poperechno gofrirovannymi stenkami. Yekaterinburg: OOO «Mechel-Servis». 2011.35 s.
- [23]. Absimetov V.E., Ignatyena V.S., Almenov K.S., Urazbekov M.B. O ratsionalnom razmeshchenii reber zhestkosti v svarnykh dvutavrovnykh balkakh // Promyshlennoye stroitelstvo. Stroyizdat.Moskva.1977. № 4.S.12–14.
- [24]. Abbas H.H. Analysis and design of corrugated web I- girders for bridges using high performance steel. Ph.D. dissertation. Lehigh University. Bethlehem, USA. 2003. 425 p.
- [25]. Driver R.G., Shear behavior of corrugated web bridge girders. Journal of Structural Engineering. 2006. Vol. 132. No. 2. Pp. 195–203.
- [26]. Elgaaly M. Bridge girders with corrugated webs. Transportation Research Record. 2000. Vol. 1696. Pp. 162–170.
- [27]. Elgaaly M., Seshadri A., Hamilton R.W. Bending strength of steel beams with corrugated webs. Journal of Structural Engineering. 1997. Vol. 123. No. 6. Pp. 772–782.
- [28]. SP 20.13330.2011 Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 2.01.07-85*.
- [29]. SNIIP RK 2.03-30-2006 «Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh».
- [30]. RDS RK 5.04-24-2006 «Sortament svarnykh dvutavrovnykh profiley obychnogo tipa s gofrirovannymi stenkami».
- [31]. STO ASChM 20-93 «Prokat stalnoy sortovoy fasonnogo profilya. Dvutavry goryachekatanyye s parallelnymi granyami polok».

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 (54). С. 93-104.

Bryantsev A.A., Absimetov V.E., Lalin V.V. Effective application of I-beams with corrugated webs in the industrial building. Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. 3 (54). Pp. 93-104. (rus)