

## Оптимизация размеров стенки гофробалок применяемых в строительстве

*Е.В. Никонова*

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва*

**Аннотация:** В статье приводится расчет различных вариантов гофробалок с различными характеристиками толщин полки стенки и сравнение с эталонной принятой двутавровой балкой, применяемой в строительстве. Основным требованием при сравнении вариантов принимается максимальный прогиб исследуемых балок с прогибом в эталонной балке на основании расчета в программном комплексе Ansys, который рассчитывает модели с применением метода конечных элементов.

**Ключевые слова:** Гофробалка, метод конечных элементов, программный комплекс Ansys, сравнение вариантов, моделирование, двутавр, балка.

Применение гофробалок (рис.1) в строительстве далеко не новая идея, такие балки начали применять в 30-х годах прошлого столетия [1]. Но при этом гофробалки в России, к сожалению, не получили распространение, одной из причин стал низкий уровень сварочных работ при устройстве гофробалки, а также отсутствие оборудования для производства таких балок. При этом в Европе применение гофробалок началось с 60-годов двадцатого века, в Японии немного позднее - в 80 годах двадцатого века [2].

Основное применение гофробалок в строительстве – балки перекрытия, балки покрытия, фермы в промышленных зданиях [3-4].

Понятие гофрирование идет от французского «gaufre» — прессовать складки, то есть создавать гофры за счет гибки листа с определенным шагом для обеспечения прочности материала и обеспечения способности материала сопротивляться деформации.

Гофробалкой называется конструкция, которая состоит из поясов и металлической стенки, которая имеет изгиб в поперечном направлении, при этом наиболее распространенная форма изгиба стенки в виде синусоидальной волны.

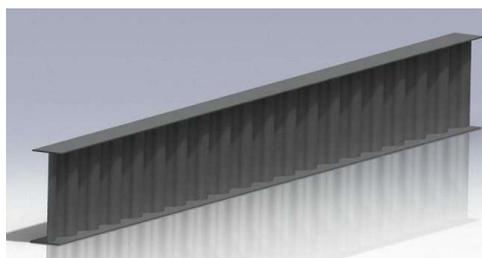


Рис. 1. Общий вид гофробалки

Для верхнего и нижнего пояса гофробалок, как правило, применяется сталь толщиной 6-30 мм; ширина полки достигает 400 мм. Стенка гофробалки достигает 8 мм. Высота гофробалок может быть различная в зависимости от применения [5-7].

Наибольшее применение получили «классические» горячекатаные балки или традиционные сварные двутавровые балки с плоской стенкой, но при этом у таких «классических» балок есть существенный недостаток – плоская стенка, которая, как правило, не нагружена, но при этом имеет достаточную толщину, чтобы удовлетворять условиям на срез. При этом расход стали для стенки составляет порядка 35-55% от всего веса балки [8].

Такого недостатка лишена гофробалка, так как стенка выполнена в виде «гармошки», при этом стенка воспринимает только перерезывающие усилия. Кроме этого, к преимуществам гофробалки можно отнести:

- Уменьшение веса конструкций в среднем на 10-30%;
- Возможность использовать данные балки при больших пролетах.

К недостаткам данных балок следует отнести:

- Изготовление таких балок более трудозатратно;
- Гофробалки не рекомендуется использовать в качестве колонн.

В данной статье производится анализ гофробалок с различными толщинами стенок (максимальная толщина - 8 мм) и сравнение с двумя классическими вариантами: горячекатаным и сварным двутавром.

Для более точной оценки преимуществ гофробалки в сравнении с «классическими» вариантами, проведем расчет напряженно-

деформированного состояния (НДС) [9]. Для расчета приняты балки длиной 6 м, нагружены равномерно распределенной нагрузкой, основное требование к данным балкам - прогиб не должен превышать допустимого, согласно формуле:

$$f = \frac{5ql^4}{384EJ_x} \quad (1)$$

Максимальный прогиб горячекатаного двутавра 20Б3 составляет 29,17 мм, при предельном прогибе балки - 30 мм.

Гофробалку можно рассчитывать, как тонкостенный стержень, на основании численного метода, согласно теории профессора В.З. Власова [10].

Расчет различных моделей гофробалок с разной толщиной стенок будем проводить в программном комплексе Ansys, основанном на применении метода конечных элементов (МКЭ) [11].

В расчете принимаются горячекатаная двутавровая балка 20Б3 согласно [12], сварная двутавровая балка, шесть различных гофробалок с толщиной стенки от 3 до 8 мм.

Основываясь на нормах проектирования для металлических конструкций, при изготовлении гофробалок предусматривается проектирование пояса балки из горячекатаной стали с применением марки стали не ниже С255, а при проектировании стенки гофробалки предусматривается использование холоднокатанной тонколистовой стали марки СтЗсп.

При проведении расчета двутавровой балки необходимо знать, что большую часть возникающего изгибающего момента на себя воспринимают именно пояса, при этом сама стенка необходима, как правило, для связи между поясами балки, а также для восприятия возникающей поперечной силы.

Исходя из этого, при небольших толщинах стенки балки, условия прочности по касательным напряжениям выполняются полностью, а для местной устойчивости необходимо увеличивать толщину стенки.

Полученные результаты расчета сведены в таблицу 1, на основании которого производятся выводы о применении гофробалок.

### 1 Вариант - горячекатаная двутавровая балка 20Б3.



Рис. 2. Общий вид горячекатаной двутавровой балки 20Б3.

### 2 Вариант - сварная двутавровая балка

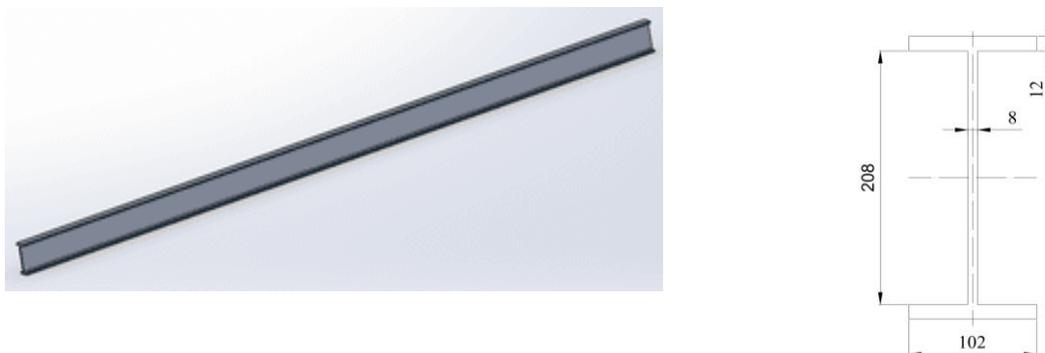


Рис. 3. Общий вид сварной балки.

### 3 Вариант - Гофробалка

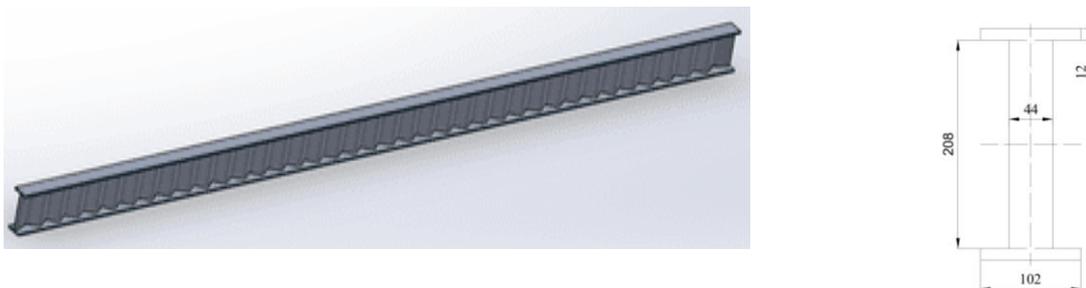


Рис. 4. Общий вид гофробалки.

## 1 Вариант - Горячекатаная двутавровая балка 20Б3.

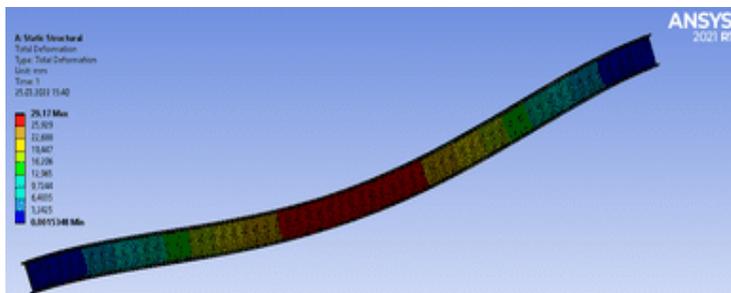


Рис. 5. Total deformation (смещение мм).

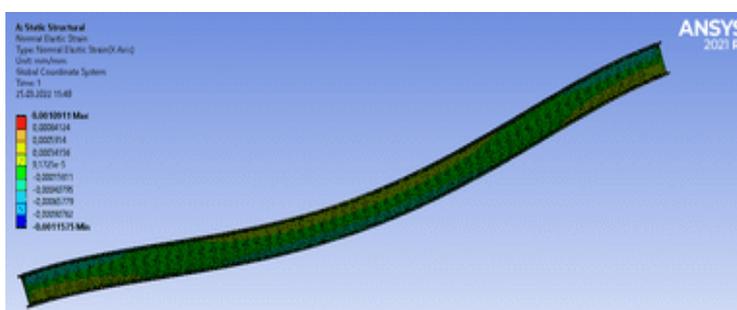


Рис. 6. Strain (деформация).

## 2 Вариант - Сварная двутавровая балка

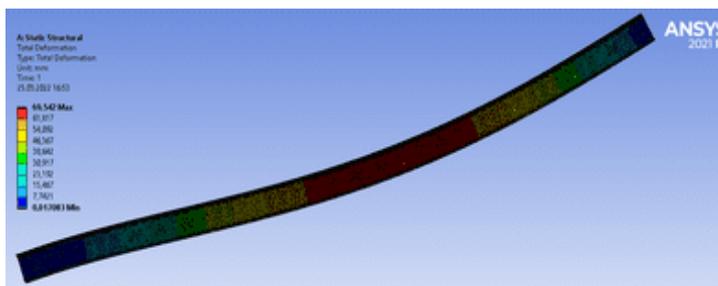


Рис. 7. Total deformation (смещение мм).

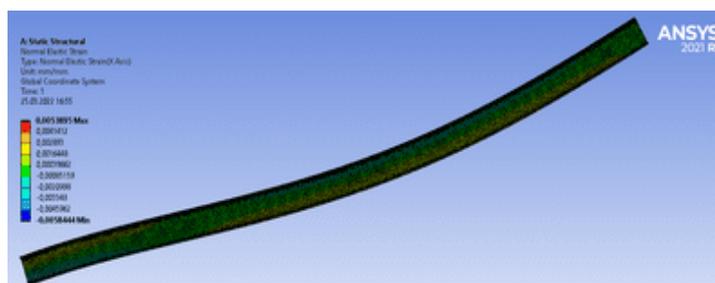


Рис. 8. Strain (деформация).

### 3 Вариант - Гофробалка с толщиной стенки 3 мм

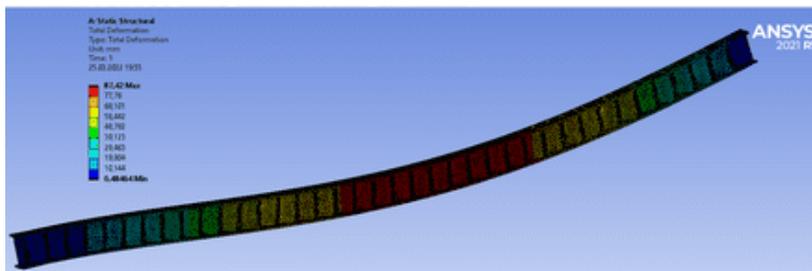


Рис. 9. Total deformation (смещение мм).

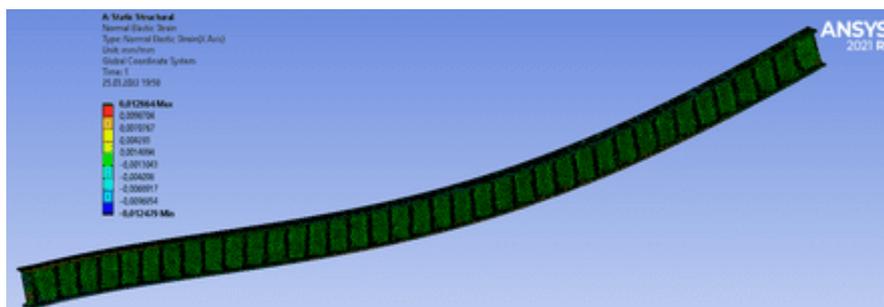


Рис. 10. Strain (деформация).

### 4 Вариант - Гофробалка с толщиной стенки 4 мм

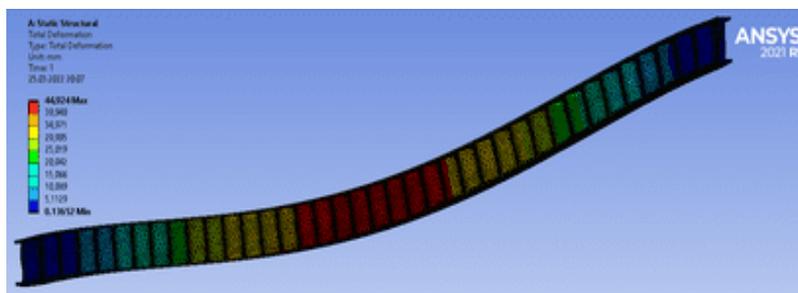


Рис. 11. Total deformation (смещение мм).

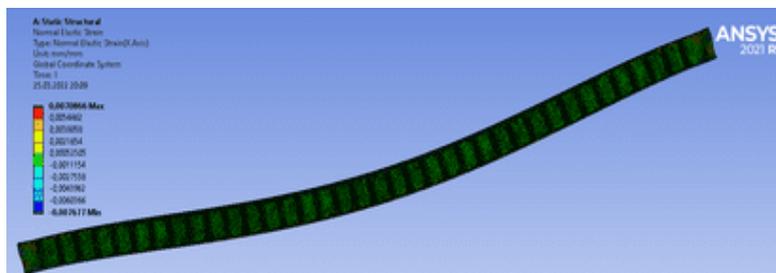


Рис. 12. Strain (деформация).

### 5 Вариант - Гофробалка с толщиной стенки 5 мм

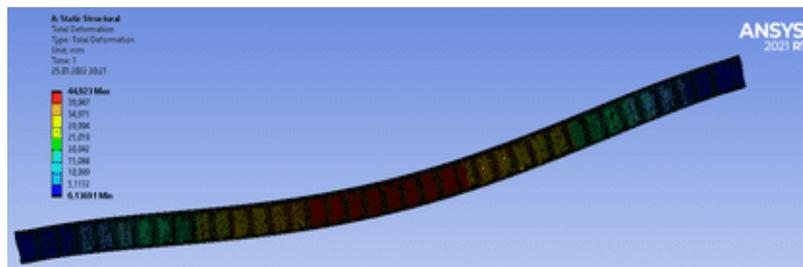


Рис. 13. Total deformation (смещение мм).

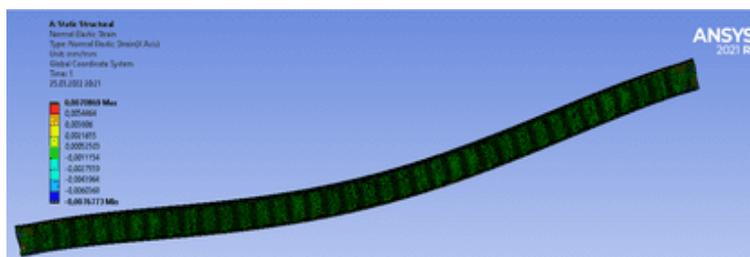


Рис. 14. Strain (деформация).

### 6 Вариант - Гофробалка с толщиной стенки 6 мм



Рис. 15. Total deformation (смещение мм).

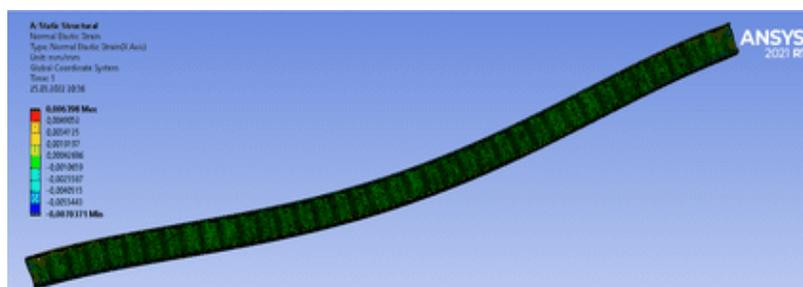


Рис. 16. Strain (деформация).

### 7 Вариант - Гофробалка с толщиной стенки 7 мм

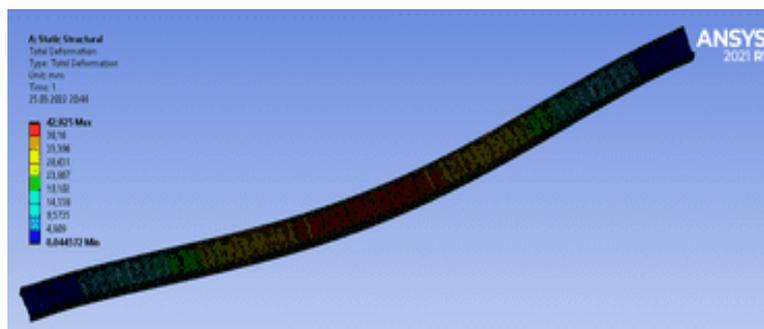


Рис. 17. Total deformation (смещение мм).

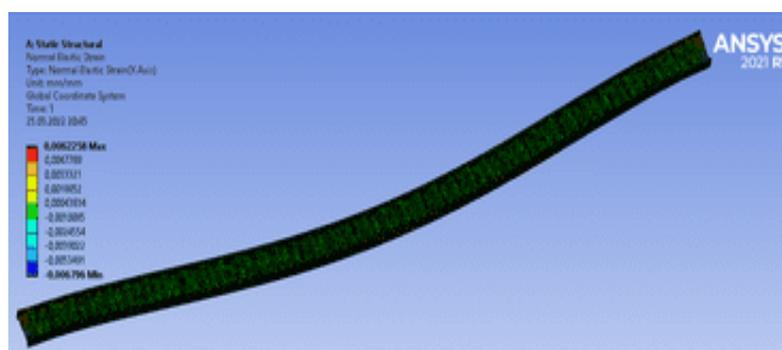


Рис. 18. Strain (деформация).

### 8 Вариант - Гофробалка с толщиной стенки 8 мм

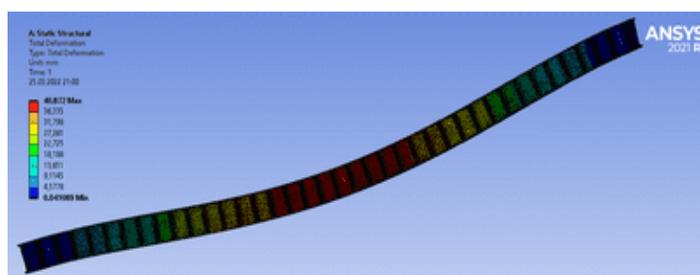


Рис. 19. Total deformation (смещение мм).

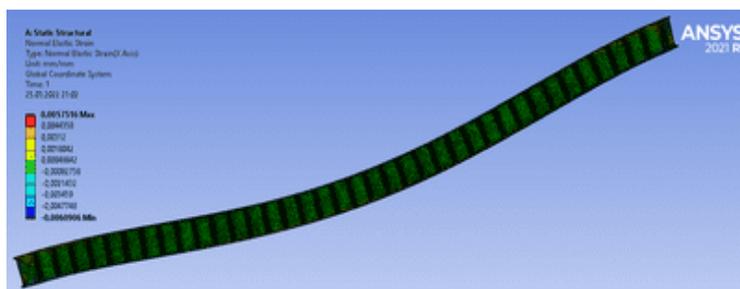


Рис. 20. Strain (деформация).

Таблица 1

Наименование балки	Total deformation (смещение мм)	Strain (деформация)	Вес конструкции (т)	Отклонение по смещениям
1	2	3	5	6
Горячекатаный двутавр профиля 20Б3	29,17	0,0010	0,261	Эталонная балка
Сварная балка двутаврового сечения	69,54	0,0053	0,193	41,94 %
Гофробалка с толщиной стенки 3 мм	87,42	0,0126	0,149	99,6 %
Гофробалка с толщиной стенки 4 мм	44,92	0,0070	0,172	35,06 %
Гофробалка с толщиной стенки 5 мм	44,92	0,0070	0,173	35,06 %
Гофробалка с толщиной стенки 6 мм	42,41	0,0063	0,183	31,21 %
Гофробалка с толщиной стенки 7 мм	42,92	0,0062	0,195	31,95 %
Гофробалка с толщиной стенки 8 мм	40,87	0,0057	0,206	28,62 %

### Заключение

При сравнении полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Характер прогиба во всех балок идентичный.
2. Полученные результаты говорят о том, что наиболее эффективной при одинаковых параметрах (размер, марка применяемой стали, величина приложенной нагрузки) является горячекатаная стальная двутавровая балка 20Б3.
3. Согласно таблице полученных результатов, остальные 7 вариантов балок достаточно сильно отличаются от принятого наилучшего решения.
4. Расчет гофробалок наиболее эффективно проводить в программных комплексах, основанных на методах конечных элементов (МКЭ).

## Литература

1. Zhang. W, Li Y., Zhou Q., Qi X., Widera G. 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. Journal of Materials Processing Technology. 2000. Volume 101, Issues 1–3, Pp. 119–123.
  2. Driver R.G., Abbas H.H., Sause R. Shear behavior of corrugated web bridge girder. Journal of Structural Engineering. 2006 Vol. 132 Issue 2 Pp. 195-203.
  3. Бирюлев В.В., Остриков Г.М., Максимов Ю.С., Барановская С.Г. Местное напряженное состояние гофрированной стенки двутавровой балки при локальной нагрузке // Известие вузов. Строительство и архитектура. 1989. № 11. С. 13–15.
  4. Максимов Ю.С., Остриков Г.М. Стальные балки с тонкой гофрированной стенкой – эффективный вид несущих конструкций производственных зданий // Промышленное строительство. 1984. № 4. С. 10–11.
  5. Проектирование металлических конструкций / Под. ред. В.В. Бирюлева, Стройиздат, 1990. 432 с.
  6. Файнштейн А.А. Стальные балки минимального веса. / Изд-во Политехнический Университет. 2007. 95 с.
  7. Лукин А.О. Определение прогибов балок с гофрированной стенкой с учетом сдвиговых деформаций // Инженерный вестник Дона. 2013. №1. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/Лукин.pdf\\_1496.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/Лукин.pdf_1496.pdf)
  8. Убайдуллоев М.Н. Повышение несущей способности эксплуатируемых сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №4 (9). С.64-122.
  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. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни. Физматиздат, 1961. С. 568.
11. Лахов А.Я. Программное обеспечение для стереовизуализации результатов конечно-элементного моделирования // Инженерный вестник Дона.2013. №1. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_19\\_\\_Lahov.pdf\\_1501.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_19__Lahov.pdf_1501.pdf)
12. Ажермачев Г.А. Балки с волнистыми стенками // Промышленное строительство, 1963, № 4. С. 54–56.

### References

1. Zhang. W, Li Y., Zhou Q., Qi X., Widera G. Journal of Materials Processing Technology. 2000. Volume 101, Issues 1–3, Pp. 119–123.
  2. Driver R.G., Abbas H.H., Sause R. Journal of Structural Engineering. 2006 Vol. 132 Issue 2 Pp. 195-203.
  3. Birjulev V.V., Ostrikov G.M., Maksimov Ju.S., Baranovskaja S.G. Izvestie vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. 1989. № 11. pp. 13–15.
  4. Maksimov Ju.S., Ostrikov G.M. Promyshlennoe stroitel'stvo. 1984. № 4. pp. 10–11.
  5. Birjuleva V.V. Proektirovanie metallicheskih konstruksij [Design of metal structures] Strojizdat, 1990. 432 p.
  6. Fajnshtejn A.A. Stal'nye balki minimal'nogo vesa [Steel beams of minimum weight] Politehnicheskij Universitet. 2007. 95 p.
  7. Lukin A.O. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №1. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/Lukin.pdf\\_1496.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/Lukin.pdf_1496.pdf)
  8. Ubajdullov M.N. Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2013. №4 (9). pp.64-122.
  9. Ostrikov G.M., Maksimov Ju.S., Dolinskij V.V. Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij, 1983. № 1. pp. 68–70.
  10. Vlasov V.Z. Tonkostennye uprugie sterzhni [Thin-walled elastic steel rods] Fizmatizdat, 1961. p. 568.
-



11. Lahov A.Ja. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №1. URL:  
[ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_19\\_\\_Lahov.pdf\\_1501.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_19__Lahov.pdf_1501.pdf)
12. Azhermachev G.A. Promyshlennoe stroitel'stvo, 1963, № 4. pp. 54–56.