

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-75-81

Солодов Н.В.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

\*E-mail: kafedrasigsh@mail.ru

## ДВУТАВРОВАЯ БАЛКА С ПОЯСАМИ ИЗ ЗГСП И ГОФРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ

**Аннотация.** Идея гофрирования стенки стальной балки с целью повышения ее местной устойчивости и снижения расхода стали за счет уменьшения толщины стенки была предложена в России достаточно давно – еще в первой половине прошлого века. Эта идея оказалась весьма продуктивной. Ее реализация имела место в самолётостроении, в судостроении, а не только в области строительных конструкций. За прошедшее без малого столетие в отечественном и зарубежном металлостроительстве было разработано большое количество вариантов конструктивных решений балок с гофрированной стенкой. Эти решения отличались: формой и ориентацией гофров по стенке; формой сечения поясов; особенностями примыкания стенки по длине балки, наличием в стенке технологических отверстий и т.п. Были исследованы различные аспекты действительной работы балок с гофрированными стенками и напряженно-деформированное состояние самих гофрированных стенок (в том числе, с учетом упругопластической стадии работы) применительно к разным вариантам конструктивных решений, отмеченных выше. В настоящей статье приводятся результаты численного моделирования работы и анализа несущей способности по критериям нескольких предельных состояний двух новых вариантов конструктивных решений балок с гофрированной стенкой, на которые получены патенты на полезную модель. Кроме того, выполнен сопоставительный анализ эффективности известных конструктивных решений балок с новыми решениями, предложенными автором. В статье показано, что в ряде случаев балки новых конструктивных решений по совокупности показателей эффективности для исследованных предельных состояний имеют большую эффективность, чем традиционные решения. Новизна конструктивных решений, приоритет по которым принадлежит авторам, заключается, в первом случае, в использовании в балке поясов из ЗГСП с сечением прямоугольной формы, больший размер стороны контура которых ориентирован из плоскости гофрированной стенки. Во втором случае, описанное выше конструктивное решение дополнено предварительно напряженной затяжкой, располагаемой в полости ЗГСП нижнего пояса.

**Ключевые слова:** стальная балка, гофрированная стенка, преднапряжённая затяжка, пояса из ЗГСП, напряженно-деформированное состояние, эффективность конструктивного решения.

**Введение.** В нашей стране о возможности гофрирования стенки и достоинствах такого решения впервые в 1937 г. была опубликована статья В.Н. Горнова [1]. Позднее, в 1964 г., вышла статья коллектива авторов (А.Л. Ваильев и др.) [2], в которой идею гофрирования было предложено использовать в обшивке переборок (перегородок) в судостроении. В Соединенных Штатах в 1956 г. балки с гофрированными стенками предложили использовать в самолётостроении (А.Ф. Фрейзер). В дальнейшем были выполнены многочисленные теоретические, экспериментальные и численные исследования конструктивных решений балок, в которых нашла применение идея гофрирования листа стенки. К числу отечественных исследователей следует отнести авторов: Г.А. Аржемачев [3], 1963 г.; В.Ф. Кириленко и Г.А. Окрайнец [4], 1969 г.; В.В. Долинский [5], 1985 г.; Я. И. Ольков, А.Н. Степаненко [6], 1972 г.; В.А. Кудрявцев [7], 1982 г.; В.Ф. Беляев [8], 1990 г.; И.С. Рыбкин [9], 2008 г.; А.С. Полторадин [10], 2013 г.; В.Ф. Егоров [11], 1990 г. и ряд других исследователей.

Среди зарубежных авторов нужно отметить работы по балкам с гофрированной стенкой: М.

Элгали, Р. Гамильтон, А. Сешадри [12], 1979 г.; С.Л. Чан, Я.А. Халид, Б.Б. Сахари, А. Хамауда [13], 2001 г.; Л. Хуанг, Х. Хикосака, К. Комине [14], 2004 г.; К.Р. Кучта [15], 2010 г. и другие.

Двутавовая балка с поясами из замкнутых гнуто-сварных профилей (ЗГСП) и гофрированной стенкой [16] имеет ряд особенностей, придающих ей существенные достоинства. Идея использовать в поясах ЗГСП вместо плоских листов имеет своим аналогом ферму с поясами из ЗГСП. Применительно к балкам, такие пояса, при равном расстоянии между центрами тяжести поясов у балок с поясами из листов, обеспечивают уменьшение высоты стенки на величину, равную сумме половин высот поясов из ЗГСП. Это уменьшает гибкость стенки из ее плоскости и, следовательно, позволяет принимать толщину стенки меньше. Гофрирование стенки также значительно увеличивает жесткость стенки из ее плоскости и повышает местную устойчивость. Сочетание в одном конструктивном решении балки поясов из ЗГСП и гофрирование стенки, таким образом, создает некий синергетический эффект, проявляющийся, в том числе, в увеличении жесткости стенки на сдвиг.

Известно, что гофрирование стенки приводит к увеличению жесткости двутавровой балки на кручение. Это важно, так как жесткость балки с двутавровым сечением с поясами и стенкой из плоских листов весьма невелика. Сочетание гофрированной стенки с поясами из ЗГСП, которые, как замкнутые профили, имеют значительную собственную жесткость на кручение, обеспечивает дополнительное увеличение сопротивления такого сечения балки в целом на действие крутящего момента. В результате существенно повышается общая (боковая) устойчивость балки с поясами из ЗГСП и гофрированной стенкой. Далее это будет показано по результатам численного моделирования.

При действии на пояс балки локальной нагрузки в ее стенке возникают локальные напряжения, которые, при определенных условиях, могут стать причиной наступления предельного состояния. Применение ЗГСП в качестве поясов балок способствует, по сравнению с поясами из плоских листов и при прочих равных условиях, снижению локальных напряжений в стенке в зоне примыкания ее к поясу. В особо тонких стенках, которые находят применение при их гофрировании, возможность снижения локальных напряжений становится весьма актуальной конструктивной особенностью описываемых балок [16].

Для оценки влияния предварительного напряжения на НДС балки конструкции [17] было выполнено ее численное моделирование. Его результаты, а также сопоставление параметров НДС с данными по аналогичной балке без преднапряженной затяжки, рассмотрены далее в статье.

**Материалы и методы.** В качестве объектов исследования в рамках настоящей статьи принято шесть вариантов конструктивных решений стальных балок без предварительного напряжения:

- образец № 1: балка со стенкой толщиной 4 мм и поясами из листовой стали;
- образец № 2: балка с поясами и ЗГСП и плоской стенкой из листов стали;
- образец № 3: балка с гофрированной стенкой толщиной 1 мм и поясами из ЗГСП;
- образец № 4: балка с гофрированной стенкой толщиной 1,5 мм и поясами из ЗГСП;
- образец № 5: балка с гофрированной стенкой толщиной 2 мм и поясами из ЗГСП;
- образец № 6: балка с поясами из листовой стали с гофрированной стенкой толщиной 2 мм.

Сечение поясов в образцах были приняты из ЗГСП  $140 \times 60 \times 5$  мм, а из пояса из листовой стали имели сечение  $180 \times 12$  мм.

Кроме того, было выполнено численное моделирование образцов № 7–№ 9. Их сечение образовано: пояса – из ЗГСП  $140 \times 60 \times 5$ ; гофрированная стенка из листовой стали толщиной 1,0; 1,5 и 2,0 мм соответственно. В полости, по центру тяжести сечения, ЗГСП в образцах № 7–№ 9 располагалась затяжка из круглой стали класса А1000  $\varnothing 20$  мм, усилие предварительного напряжения принималось равным 261,6 кН. Эта величина найдена из условия, чтобы максимальные напряжения в поясе балки не превышал  $0,7R_{yc}$ .

Расстояние между центрами тяжести поясов в образцах № 1–№ 6 принято равным 428 мм, в остальных случаях – 440 мм.

Численное моделирование выполняли в программном комплексе ЛИРА с использованием конечных элементов в виде пластин. Свойства стали приняты следующие: плотность  $7,85 \text{ т/м}^3$ , коэффициент Пуассона – 0,3; модуль упругости –  $2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ;  $R_y = 240 \text{ МПа}$ . Длина пролета балок принята равной 4,532 м, опирание шарнирное. Расчеты выполнены по упругой стадии работы стали. Параметры поперечных сечений образцов № 1–№ 6 показаны на рис. 1, общий вид образцов № 7–№ 9 на рис. 2.

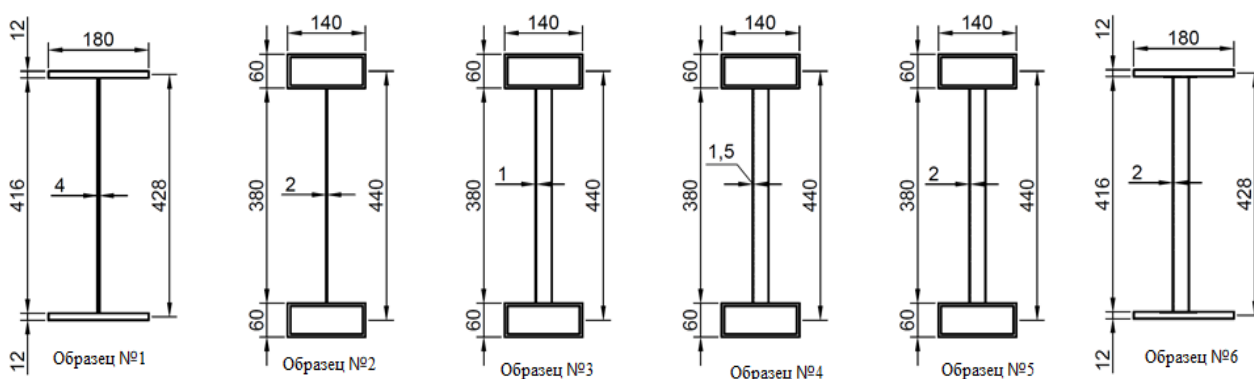


Рис. 1. Форма и размеры поперечных сечений опорных образцов

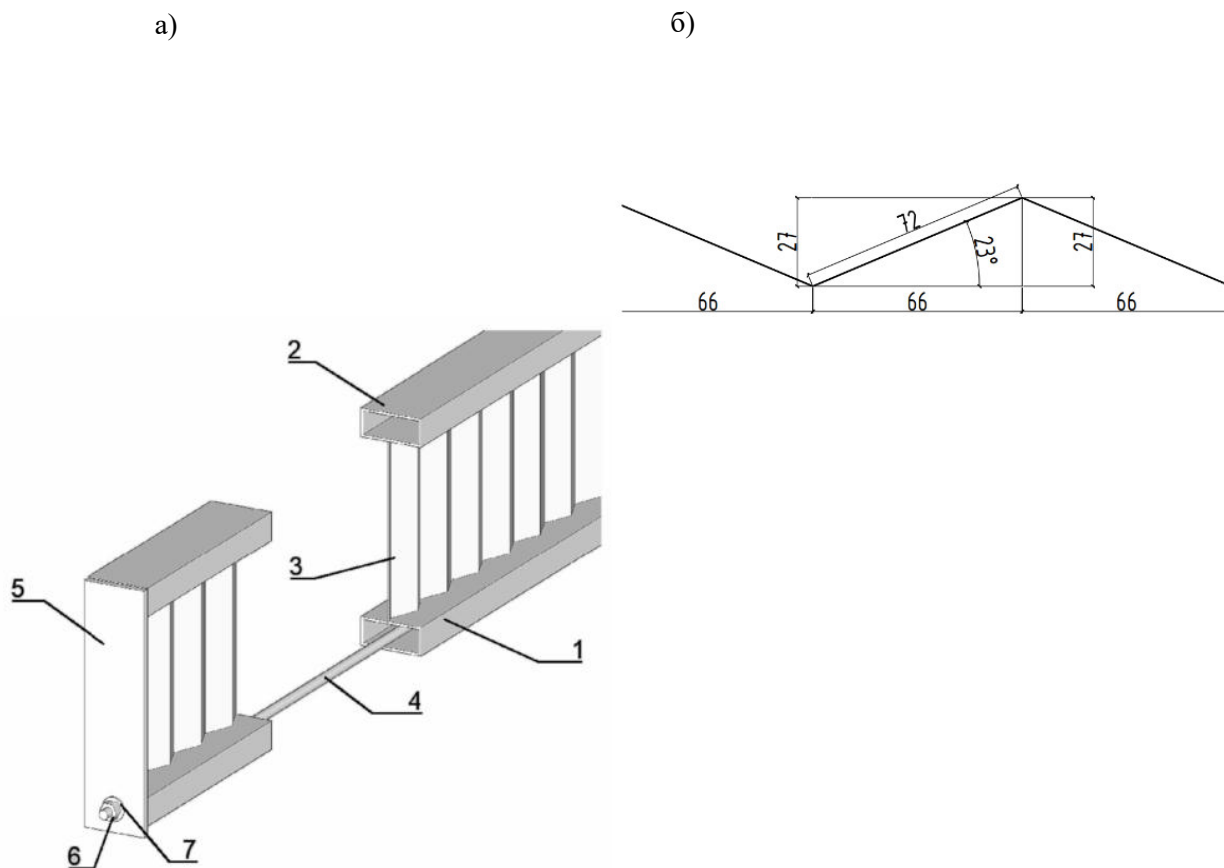


Рис. 2. Общий вид образцов № 7–№ 9: а) конструкция балки с затяжкой: 1 – растянутый пояс из ЗГСП; 2 – сжатый пояс из ЗГСП; 3 – гофрированная стенка; 4 – предварительно напряженная затяжка; 5 – опорное ребро балки; 6 – гайка; 7 – шайба; б) параметры гофрирования стенки

В опытных образцах при численном моделировании оценивали ресурсы их несущей способности по нескольким предельным состояниям:

- предельное состояние, определяемое деформативностью изгибаемого элемента;
- предельное состояние, определяемое прочностью при действии крутящего момента;
- предельное состояние, определяемое деформативностью стенки при сдвиге в ее плоскости;
- предельное состояние, определяемое прочностью стенки при действии на нее локальной нагрузки (шесть вариантов загрузки);
- предельное состояние, определяемое общей (боковой) устойчивостью изгибаемого элемента;
- предельное состояние, определяемое местной устойчивостью стенки.

Для каждого опытного образца в каждом из перечисленных выше предельных состояний на основе численного исследования получены значения характерного параметра: предельная нагрузка; предельное усилие в сечении; деформационный параметр – угол сдвига, прогиб, угол кручения (или соответствующие им жесткости на сдвиг, на кручение); локальное напряжение. Ве-

личины этих характерных параметров, соответствующие наступлению указанных предельных состояний, использованы при анализе для ранжирования опытных образцов по их эффективности.

**Основная часть.** Исследование напряженно-деформированного состояния численных моделей от действия в их сечении изгибающих моментов позволяет оценить и сопоставить у разных образцов предельную нагрузку, когда их прочность в максимально нагруженном изгибающем моментом исчерпана на 100 %. Ранжирование образцов по величине предельной нагрузки дает представление об эффективности каждого конструктивного решения по данному критерию.

На рисунке 3 приведены, в качестве примера, результат численного моделирования в виде изополей нормальных напряжений от изгибающего момента в сечениях образцов № 1 и № 5. Аналогичные моменты в сечениях найдены для всех образцов по каждому из исследованных предельных состояний.

Тестовая нагрузка (100 кН/м), при учете упругой работы стали, принятая в численном моделировании, а также величина коэффициента использования прочности сечения, позволяют вычислить предельную погонную нагрузку для

каждого рассматриваемого предельного состояния. По этой нагрузке в дальнейшем и приводится ранжирование эффективности образцов.

В таблице 1 приведены параметры, характеризующие НДС в соответствующих предельных состояниях: предельная нагрузка; предельное усилие в сечении; предельный деформационный параметр – угол сдвига, прогиб, угол кручения (или соответствующие им жесткости на сдвиг, на кручение).

При анализе, в качестве условного интегрального показателя эффективности образцов балок разной конструкции, применим отношение несущей способности каждого образца к его массе. За несущую способность принимаем величину изгибающего момента, соответствующую нагрузке на каждый образец при коэффициенте запаса равном единице. Данные указаны в таблице 1.

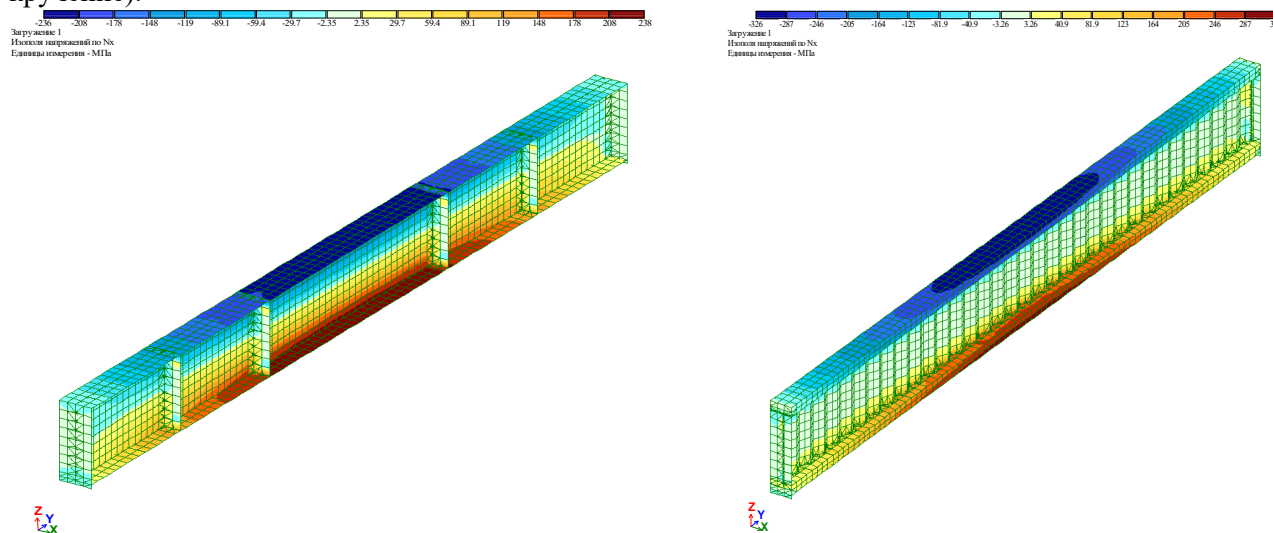


Рис. 3. Изополю нормальных напряжений в образцах № 1 и № 5

Таблица 1

**Характеристики эффективности образцов**

№ п/п	Номер образца	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4	Образец № 5	Образец № 6
	Наименование параметра НДС						
1	Величина нормальных напряжений в поясе от изгибающего момента, верхний/нижний, МПа	236/238	240/241	243/244	238/240	235/237	236/236
2	Величина прогиба, мм	14,1	13,7	17,5	15,2	14,1	16,3
3	Жесткость на кручение, тн·м <sup>2</sup>	2,04	45,0	46,2	46,20	47,4	2,2
4	Жесткость образца на сдвиг, тн	20492	10869	5000	10000	10000	10100
5	Максимальные локальные напряжения в стенке, МПа	12,5	8,3	15,9	11,2	8,7	23,0
6	Предельная нагрузка по критерию общей устойчивости балки или местной устойчивости стенки (*), тн/м	8,83	2,16*	2,47*	8,12*	18,85*	10,93
7	Интегральный показатель эффективности конструктивного решения балки (возрастание показателя соответствует увеличению эффективности)	0,021	0,025	0,025	0,029	0,034	0,029
8	Масса образца, кг	249,0	176,0	162,0	168,0	175,0	197,0

Анализ параметров численного моделирования НДС балок, соответствующих образцам № 7–№ 9, показал, что для принятого при моделировании уровня предварительного напряжения, прогиб балок с преднапряжением на 30–34 % меньше, чем у аналогичных без преднапряжения. Применение гофрированных стенок приводит к тому, что их вклад (доля) в изгибной жесткости балки несколько снижается (на 2,3–3,7

% по данным моделирования). Однако преднапряжение позволяет компенсировать это снижение и даже увеличить изгибную жесткость образца. Для исследованных балок суммарный положительный эффект по этому параметру составил от 0,7 до 1,6 %. В случае оптимизации уровня преднапряжения может быть получен более значительный эффект.

**Выводы.** Выполненное численное моделирование стальных балок, отличающихся конструктивными решениями, но имеющими практически одинаковые значения несущей способности по изгибаемому моменту, подтвердило высокую эффективность предложенного в патенте на полезную модель образца с поясами из замкнутых гнутосварных профилей и гофрированной стенкой.

Показано существенное увеличение несущей способности (или предельной нагрузки) этого образца по критериям: жесткость на кручение; боковая (общая) устойчивость; величина локальных напряжений в стенке.

Применение в конструкции балки преднапряжения в виде стержневой затяжки, располагаемой в полости (по центру тяжести сечения) ЗГСП нижнего пояса, повышает эффективность работы изгибаемого элемента по критериям: жесткость при изгибе в вертикальной плоскости; предельный изгибающий момент в нормальном сечении.

Разработанные новые конструктивные решения балок позволяют уменьшать металлоемкость проектных решений в соответствующей области применения (прогоны, элементы балочных площадок и т.п.).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горнов В.Н. Новые тонкостенные конструкции // Проект и стандарт. 1937. №4. С. 25–28.
2. Васильев А.Л., Глозман М.К., Павлинова Е.А., Филиппео М.В. Прочные судовые гофрированные переборки. Л.: Судостроение, 1964. 316 с.
3. Ажермачев Г.А. Балки с волнистыми стенками // Промышленное строительство. 1963. №4. С. 54–56.
4. Кириленко В.Ф., Окрайнец Г.А. К вопросу расчета балок с гофрированной стенкой // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 1969. №4. С. 23–27.
5. Долинский В.В. Стальные двутавровые ригели с гофрированной стенкой в сейсмостойких многоэтажных рамных каркасах: Автореф. дис... канд. наук. Н., 1985. 22 с.
6. Ольков Я.И., Степаненко А.Н. О расчете металлических балок с тонкой гофрированной стенкой // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 1972. №10. С. 12–15.
7. Кудрявцев В.А., Москалева В.Г. Экспериментальное исследование устойчивости пространственных коробчатых элементов с стенками при действии горизонтально-гофрированными преобладающего сдвига // В кн: Статика и динамика сложных строительных конструкций: Межвуз. темат. сб. тр. Л.: ЛИСИ, 1982. С. 92–94.
8. Беляев В.Ф., Михайлова Т.В. Об оптимальной ориентации закрытых гофров в стенке стальной двутавровой балки // Промышленное строительство. 1990. № 10. С. 20–21.
9. Рыбкин И.С. Совершенствование конструктивных решений, методов моделирования и расчета гофрированных элементов: Автореф. дис... канд. наук. М., 2008. 22 с.
10. Полтораднев А.С. Несущая способность и оптимизация стальных тонкостенных балок: дис... канд. наук. М., 2013. 216 с.
11. Егоров П.И. Дополнительные изгибно-крутящие усилия в двутавровом стержне с поперечным непрерывным трапециевидальным профилем гофров в стенке // Промышленное и гражданское строительство. 2007. №10. С. 24–35.
12. Elgaaly M., Seshadri A., Hamilton R.W. Shears Strenght of Beams with Corrugated Webs // Journal of Structural Engineering. 1996. Vol. 122. Pp. 390–398.
13. Chan C.L., Khalid Y.A., Sahari B.B., Hamouda A.M.S. Finite element analysis of corrugated web beams under bending // Journal of constructional steel research. 2002. Vol. 58. Pp. 1391–1406.
14. Huang L., Hikosaka H., Komine K., Simulation of accordion effect in corrugated steel web with concrete flanges: Computers and structures. 2004. Vol. 82. Pp. 2061–2069.
15. Kuchta K.R. Wavy Corrugated Web Stiffness Influence on Plate Girders Flange Local Stability // Cracow University of Technology. Poland, 2010. Pp. 205–210.
16. Пат. 175354 U1, Российская Федерация, МПК E04C 3/07. Металлическая двутавровая балка с гофрированной стенкой / Н.В. Солодов, В.А. Ечин. № 2017125573; заявл. 17.07.2017; опубл. 01.12.2017.
17. Пат. 207598 U1, Российская Федерация, МПК E04C 3/10 (2006.01). Предварительно напряженная металлическая двутавровая балка / Н.В. Солодов, В.О. Демин. № 2021120142; заявл. 08.07.2021; опубл. 03.11.2021.

### Информация об авторах

**Солодов Николай Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: kafedrasigsh@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 17.02.2022 г.

© Солодов Н.В., 2022

**Solodov N.V.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

E-mail: kafedrasigsh@mail.ru

**I-BEAM WITH ZGSP CHORNS AND A CORRUGATED WALL**

**Abstract.** The idea of corrugating the wall of a steel beam in order to increase its local stability and reduce steel consumption by reducing the wall thickness was proposed in Russia quite a long time ago - back in the first half of the last century. This idea turned out to be quite productive. Its implementation took place in aircraft construction, in shipbuilding, and not only in the field of building structures. Over the past nearly a century, a large number of design solutions for beams with a corrugated wall have been developed in domestic and foreign metal building. These solutions differed in: the shape and orientation of the corrugations along the wall; the shape of the section of the belts; peculiarities of the adjoining of the wall along the length of the beam, the presence of technological holes in the wall, etc. Various aspects of the actual operation of beams with corrugated walls and the stress-strain state of the corrugated walls themselves (including taking into account the elastic-plastic stage of work) were studied in relation to various options for the design solutions noted above. This article presents the results of numerical simulation of the operation and analysis of the bearing capacity according to the criteria of several near-edge states of two new variants of structural solutions for beams with a corrugated wall, for which utility model patents have been obtained. In addition, a comparative analysis of the effectiveness of known structural solutions of beams with new solutions proposed by the author was carried out. The article shows that in a number of cases, beams of new design solutions, in terms of the totality of performance indicators for the studied limit states, are more efficient than traditional solutions. The novelty of the design solutions, the priority of which belongs to the authors, lies, in the first case, in the use in the beam of chords made of ZGSP with a rectangular section, the larger side of the contour of which is oriented from the plane of the corrugated wall. In the second case, the constructive solution described above is supplemented with a prestressed tightening located in the cavity of the lower chord SHG.

**Keywords:** steel beam, corrugated wall, prestressed tightening, ZGSP chords, stress-strain state, efficiency of constructive solution.

**REFERENCES**

1. Gornov V.N. New thin-walled structures [Novye tonkostennyye konstrukcii]. Proekt i standart. 1937. No. 4. Pp. 25–28. (rus)
2. Vasiliev A.L., Glozman M.K., Pavlinova E.A., Philippeo M.V. Strong ship corrugated bulkheads [Prochnyye sudovyye gofrirovannyye pereborki]. L.: Sudostroenie, 1964. 316 p. (rus)
3. Azhernachev G.A. Beams with wavy walls [Balki s volnistymi stenkami]. Promyshlennoe stroitel'stvo. 1963. No. 4. Pp 54–56. (rus)
4. Kirilenko V.F., Okraynets G.A. On the issue of calculating beams with a corrugated wall [K voprosu rascheta balok s gofrirovannoy stenкой]. Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo i arhitektura. 1969. No. 4. Pp. 23–27. (rus)
5. Dolinsky V.V. Steel I-beams with a corrugated wall in seismic-resistant multi-storey frame frames: [Stal'nye dvutavrovyye rigeli s gofrirovannoy stenкой v sejsmostojkikh mnogoetazhnykh ramnykh karkasakh] Avtoref. dis... kand. nauk. N., 1985. 22 p. (rus)
6. Olkov Ya.I., Stepanenko A.N. On the calculation of metal beams with a thin corrugated wall [O raschete metallicheskih balok s tonкой gofrirovannoy stenкой]. Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo i arhitektura. 1972. No. 10. Pp. 12–15. (rus)
7. Kudryavtsev V.A., Moskaleva V.G. Experimental study of the stability of spatial box-shaped elements with walls under the action of horizontally corrugated prevailing shear [Eksperimental'noe issledovanie ustojchivosti prostranstvennykh korobchatykh elementov s stenkami pri dejstvii gorizonta'ln'o-gofrirovannymi preobladayushchego sdviga]. V kn: Statika i dinamika slozhnykh stroitel'nykh konstrukcij: Mezhdvuz. temat. sb. tr.. L.: LISI, 1982. Pp. 92–94. (rus)
8. Belyaev V.F., Mikhailova T.V. Extensive orientation of closed corrugations in the web of a steel I-beam [Ob optimal'noj orientacii zakrytykh gofrov v stenke stal'noj dvutavrovoj balki]. Promyshlennoe stroitel'stvo. 1990. No. 10. Pp. 20–21. (rus)
9. Rybkin I.S. Improvement of design solutions, modeling methods and calculation of corrugated elements [Sovershenstvovanie konstruktivnykh reshenij, metodov modelirovaniya i rascheta gofrirovannykh elementov]: Avtoref. dis... kand. nauk. M., 2008. 22 p. (rus)
10. Poltoradnev A.S. Bearing capacity and optimization of steel thin-walled beams [Nesushchaya sposobnost' i optimizaciya stal'nykh tonkostennykh balok]. dis... kand. nauk. M., 2013. 216 p. (rus)
11. Egorov P.I. Additional bending-torsional forces in an I-beam rod with a transverse continuous

trapezoidal profile of corrugations in the wall [Dopolnitel'nye izgibno-kruityashchie usiliya v dvutavrovom sterzhne s poperechnym nepreryvnym trapeceidal'nym profilem gofrov v stenke]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2007. No. 10. Pp. 24–35. (rus)

12. Elgaaly M., Seshadri A., Hamilton R.W. Shears Strengh of Beams with Corrugated Webs: Journal of Structural Engineering. 1996. Vol. 122. Pp. 390–398.

13. Chan C.L., Khalid Y.A., Sahari B.B., Hamouda A.M.S. Finite element analysis of corrugated web beams under bending: Journal of constructional steel research. 2002. Vol. 58. Pp. 1391–1406.

14. Huang L., Hikosaka H., Komine K., Simulation of accordion effect in corrugated steel web with concrete flanges: Computers and structures. 2004. Vol. 82. Pp. 2061–2069.

15. Kuchta K.R. Wavy Corrugated Web Stiffness Influence on Plate Girders Flange Local Stability. Cracow University of Technology. Poland, 2010. Pp. 205–210.

16. Solodov N.V., Echin V.A. Metal I-beam with a corrugated wall. Patent RF, no 2017125573, 2017.

17. Solodov N.V., Demin V.O. Prestressed metal I-beam. Patent RF, no. 2021120142, 2021.

*Information about the authors*

**Solodov, Nikolai V.** Associate professor. E-mail: kafedrasigsh@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostukova st., 46.

---

*Received 17.02.2022*

**Для цитирования:**

Солодов Н.В. Двутавровая балка с поясами из ЗГСП и гофрированной стенкой // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 4. С. 75–81. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-75-81

**For citation:**

Solodov N.V. I-beam with ZGSP chorns and a corrugated wall. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 4. Pp. 75–81. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-75-81