

Н.Л. ТИШКОВ¹, А.Н. СТЕПАНЕНКО¹¹Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

РАБОТА СТАЛЬНЫХ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК С ТОНКОЙ НАКЛОННО-ГОФРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ

Аннотация. Эффективность применения поперечно-гофрированных балок может быть увеличена за счет наклона гофров на приопорных участках их стенок. В работе приводятся результаты исследования напряженно-деформированного состояния стальных двутавровых балок с тонкой наклонно-гофрированной стенкой в зависимости от угла наклона образующих гофров к плоскости поперечного сечения балки. Представлены конечно-элементные модели балок с различными углами наклона образующих гофров (профиль гофров треугольный непрерывный открытый), а также результаты и краткий анализ численных экспериментов, проведенных при помощи программного комплекса ЛИРА-САПР. В ходе эксперимента для каждой модели получены формы потери устойчивости стенок с коэффициентами запаса, деформированные схемы и изополя распределения нормальных, касательных и главных напряжений в элементах балок. Представленные результаты свидетельствуют о дополнительном повышении устойчивости стенки при нисходящих гофрах, об изменении усилий в поясах балок и некотором повышении их деформативности.

Ключевые слова: металлическая двутавровая балка, тонкая наклонно-гофрированная стенка, треугольный профиль гофров, метод конечных элементов.

N.L. TISHKOV¹, A.N. STEPANENKO¹¹Pacific National University, Khabarovsk, Russia

OPERATION OF STEEL I-BEAMS WITH THIN SLOPED-CORRULATED WALL

Abstract. The efficiency of the use of cross-corrugated beams can be increased by tilting the corrugations on the supporting sections of their walls. The paper presents the results of a study of the stress-strain state of steel I-beams with a thin inclined-corrugated wall, depending on the angle of inclination of the generatrix of the corrugations to the plane of the cross-section of the beam. The finite element models of beams with different inclination angles of the generating corrugations (corrugation profile triangular continuous open) are presented, as well as the results and a brief analysis of numerical experiments carried out using the software package LIRA-SAPR. In the course of the experiment, for each model, the forms of wall buckling with safety factors, deformed schemes and distribution isofields of normal, tangential and principal stresses in beam elements were obtained. The presented results indicate an additional increase in the stability of the wall with downward corrugations, a change in the forces in the chords of the beams, and a slight increase in their deformability.

Keywords: metal I-beam, thin inclined-corrugated wall, triangular corrugation profile, finite element method.

Введение

При проектировании сварных балок двутаврового сечения основной из задач является обеспечение местной устойчивости плоской стенки за счет увеличения ее толщины или установки ребер жесткости. Обеспечить устойчивость тонкой стенки на приопорном участке, распределив материал по сечению более рационально, возможно за счет придания ей

© Тишков Н.Л., Степаненко А.Н., 2023

пространственной формы. Применение балок (колонн, арок) с тонкой поперечно-гофрированной стенкой получает более широкое распространение в строительстве ввиду высокой эффективности [1-4]. Работа гофрированных конструкций двутаврового сечения достаточно хорошо изучена [5-15]. Однако ученые не останавливаются на достигнутом и ищут новые конструктивные решения для повышения эффективности объемно-профилированных конструкций [16-18].

Предметом исследования является анализ напряженно-деформированного состояния стальной двутавровой балки с тонкой наклонно-гофрированной стенкой (рисунок 1).

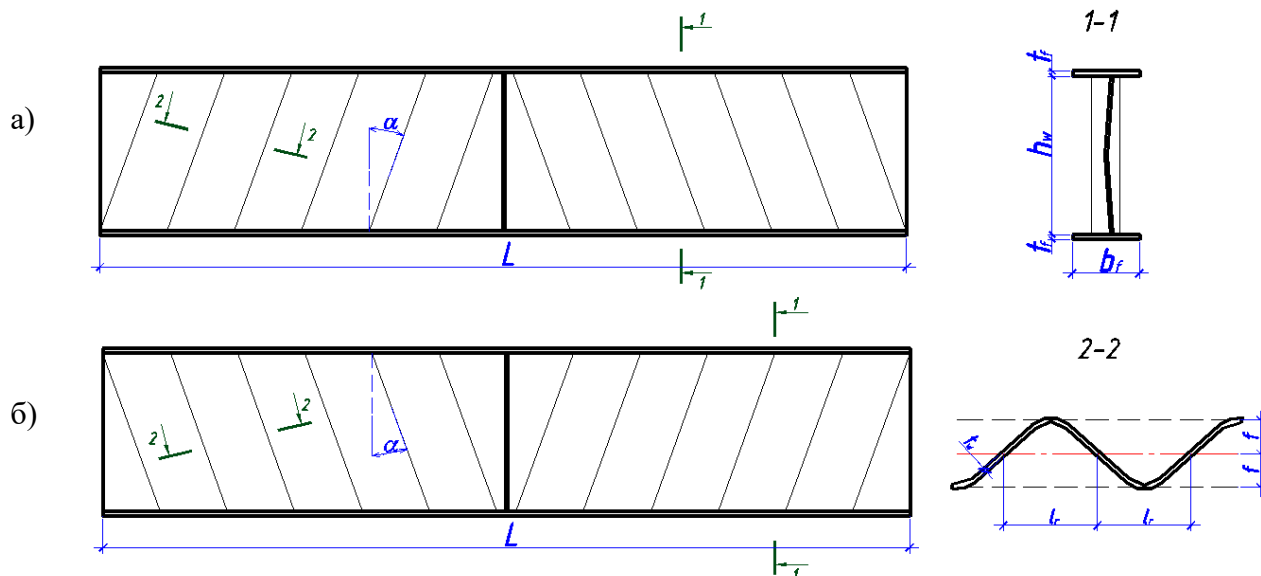


Рисунок 1 – Конструкция металлической балки двутаврового сечения с тонкой наклонно - гофрированной стенкой (профиль гофра: волнистый непрерывный открытый):
 а) с восходящими гофрами, б) с нисходящими гофрами

Целью данной работы является исследование влияния угла наклона образующих гофров от плоскости поперечного сечения на работу стальной двутавровой балки с тонкой гофрированной стенкой.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Созданы модели металлических балок с гофрированными стенками с различными углами наклона образующих гофров в программном комплексе «ЛИРА-САПР»;
2. Произведен расчет и оценка напряженно-деформированного состояния балок с поперечным и наклонным гофрированием стенки методом конечных элементов при одинаковых граничных условиях, нагрузках и свойствах материалов;
3. Оценена устойчивость гофрированных стенок посредством программного комплекса «ЛИРА-САПР»;
4. Произведен сравнительный анализ полученных результатов исследования.

Модели и методы

Анализ напряженно-деформированного состояния гофрированных балок выполнялся с использованием программного комплекса ЛИРА-САПР. Для численного моделирования применялись пластинчатые трех узловые конечные элементы типа КЭ-42 и четырех узловые конечные элементы типа КЭ-44 с постоянными (одинаковыми) во всех направлениях

параметрами упругости: модулем упругости материала $E = 2 \cdot 10^4$ кН/см² и коэффициентом Пуассона $\nu = 0,3$. Разбивка поясов и стенки задавалась в соответствии с ломаной геометрией стенки, размеры конечных элементов варьируется от 10 до 20 мм.

Все варианты моделей имеют одинаковые параметры поперечного сечения и гофрирования, граничные условия, нагрузки и свойства материалов.

Параметры моделей:

- расчетная схема: однопролетная шарнирно-опертая по концам балка пролетом 6 м, нагрузка равномерно распределенная интенсивностью 40 кН/м (приложена к верхнему поясу по полосе контакта пояса с гофрированной стенкой), верхний пояс по длине раскреплён в своей плоскости;

- поперечное сечение: высота стенки – 50 см; толщина гофрированной стенки – 0,2 см; толщина поясов – 0,8 см;

- параметры гофрирования стенки: длина полуволны – 12 см; высота полуволны – 2 см; профиль гофров – треугольный (волнистый).

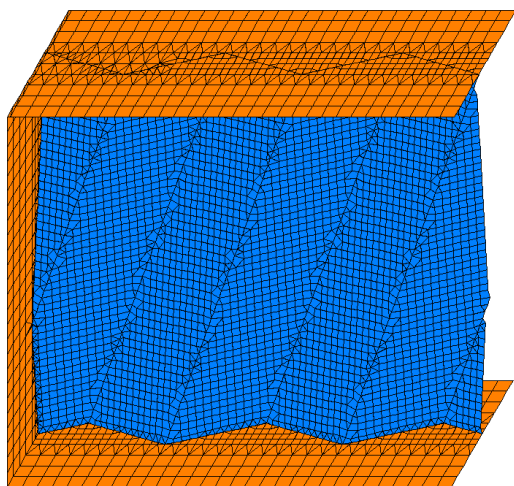
В ходе исследования разработано 13 моделей с различными углами образующих гофров:

- базовая модель – угол наклона образующих гофров (от плоскости поперечного сечения) 0 градусов;

- модели с восходящими гофрами (рисунок 2 а) – угол наклона образующих гофров 5, 10, 15, 20, 25 и 30 градусов;

- модели с нисходящими гофрами (рисунок 2 б) – угол наклона образующих гофров 5, 10, 15, 20, 25 и 30 градусов.

а)



б)

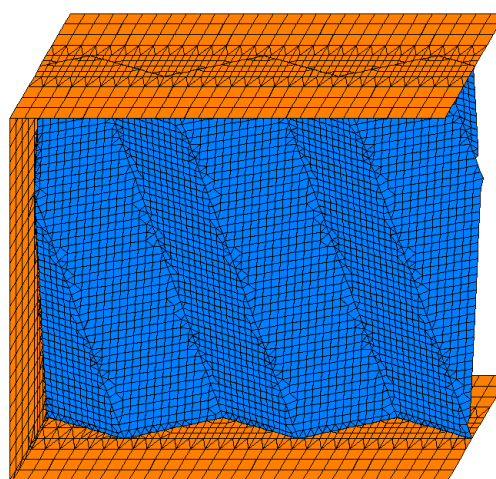


Рисунок 2 – Фрагменты конечно-элементных моделей балок с углом наклона образующих гофров 20 градусов: а) с восходящими гофрами, б) с нисходящими гофрами

Местная устойчивость гофрированных стенок оценивалась параметром ПК ЛИРА-САПР. В программном комплексе реализован способ оценки устойчивости при условии работы системы в упругой области [19]. Решением задачи является определение числового параметра k , при котором произойдет потеря устойчивости. Коэффициент запаса

устойчивости k показывает во сколько раз критическая нагрузка по Эйлеру превышает фактически приложенную.

Результаты исследования и их анализ

В результате расчета моделей балок определены величины нормальных напряжений в поперечных сечениях, касательных и главных напряжений в стенках, вертикальных прогибов и коэффициентов запаса устойчивости приопорных зон гофрированных стенок балок. Наиболее характерные результаты расчета приведены в таблицах 1-4.

Таблица 1 – Максимальные прогибы, коэффициенты запаса устойчивости стенки, максимальные нормальные напряжения в поясах и максимальные главные напряжения в приопорных зонах балок с восходящими гофрами

Угол наклона α образующих гофров, градусы	Прогиб в середине пролета, мм	Коэффициент запаса устойчивости, k	Нормальные напряжения в верхнем и нижнем поясах в середине пролета (max), кН/см ²	Главные напряжения в стенке на приопорном участке (max), кН/см ²
0	18,6	2,33174	-22,8 / 22,9	12,2 / -13,2
5	18,8	1,64913	-23,5 / 22,9	21,6 / -27,2
10	18,8	1,64936	-23,5 / 22,9	21,6 / -27,0
15	19,0	1,45821	-23,8 / 22,8	24,1 / -34,2
20	19,2	1,29912	-23,1 / 22,8	29,7 / -42,0
25	19,6	1,18694	-23,8 / 22,7	32,6 / -47,6
30	20,0	1,13744	-23,4 / 22,7	39,5 / -53,9

Таблица 2 – Максимальные прогибы, коэффициенты запаса устойчивости стенки, максимальные нормальные напряжения в поясах и максимальные главные напряжения в приопорных зонах балок с нисходящими гофрами

Угол наклона α образующих гофров, градусы	Прогиб в середине пролета, мм	Коэффициент запаса устойчивости, k	Нормальные напряжения в верхнем и нижнем поясах в середине пролета (max), кН/см ²	Главные напряжения в стенке на приопорном участке (max), кН/см ²
0	18,6	2,33174	-22,8 / 22,9	12,2 / -13,2
5	18,8	2,97196	-22,9 / 23,4	26,3 / -22,6
10	18,8	2,97114	-22,9 / 23,4	26,2 / -22,7
15	19,2	3,39667	-23,0 / 24,0	33,2 / -26,3
20	19,4	3,97800	-22,9 / 23,4	41,0 / -29,9
25	19,8	4,60584	-22,8 / 23,7	46,4 / -35,2
30	20,3	5,72500	-22,9 / 23,3	52,6 / -43,4

Таблица 3 – Средние нормальные напряжения в поперечных сечениях поясов балок

Угол наклона образующих гофров, градусы	Средние значения нормальных напряжений в поперечных сечениях поясов балок, кН/см ² (нижний пояс/верхний пояс)				
	30 см	90 см	150 см	210 см	270 см
0 (базовая модель)	4,17/-4,17	11,25/-11,25	16,55/-16,55	20,1/-20,05	21,9/-21,85
Балки с восходящими гофра́ми в стенке					
10	5,25/-3,08	12,05/-10,4	17,15/-15,95	20,45/-19,75	21,95/-21,75
20	6,48/-1,99	12,95/-9,49	17,75/-15,3	20,75/-19,4	22,05/-21,6
30	7,58/-1,07	13,8/-8,45	18,4/-14,6	21,05/-18,9	22,0/-21,45
Балки с нисходящими гофра́ми в стенке					
10	3,07/-5,27	10,4/-12,05	15,95/-17,15	19,75/-20,45	21,75/-21,95
20	1,92/-6,46	9,42/-13,05	15,25/-17,8	19,3/-20,85	21,55/-22,1
30	0,91/-7,78	8,27/-14,0	14,4/-18,5	18,7/-21,25	21,25/-22,15

Для базовой модели и моделей с углом наклона образующих гофров в 20 градусов для наглядности приведена диаграмма распределения средних значений нормальных напряжений в поперечных сечениях поясов по длине балок (рисунок 3).

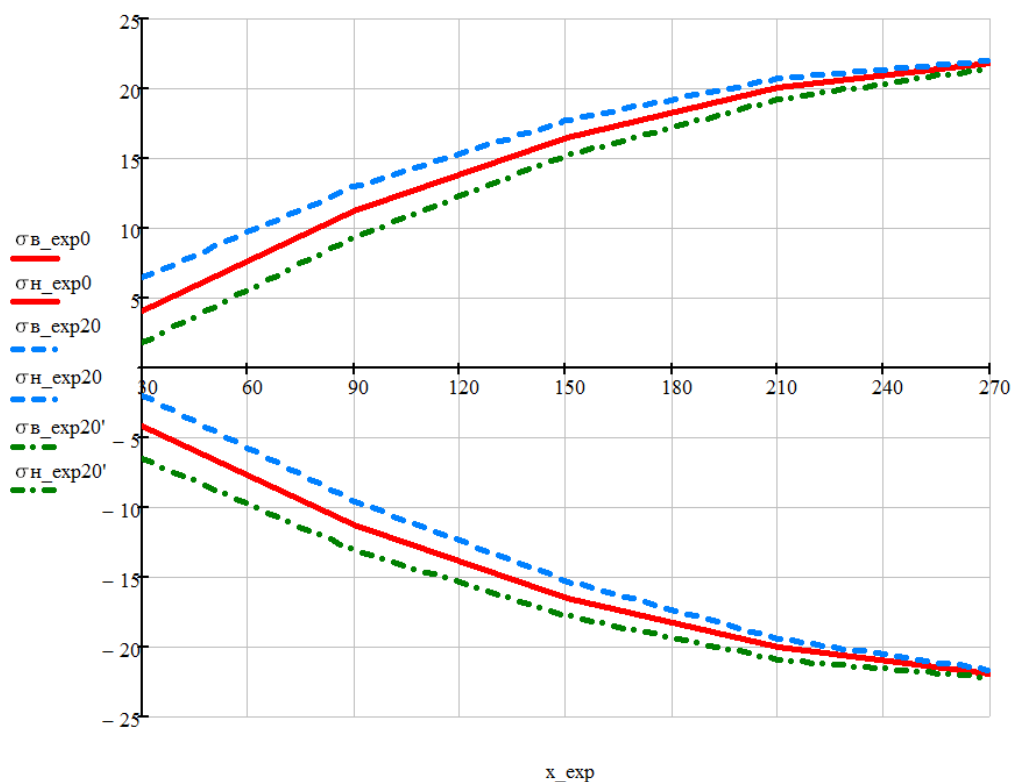


Рисунок 3 – Диаграмма распределения средних нормальных напряжений в поперечных сечениях поясов по длине балок:

- базовая модель,
- модель с восходящими гофра́ми (угол наклона образующих гофров 20),
- модель с нисходящими гофра́ми (угол наклона образующих гофров 20)

Таблица 4 - Изополя распределения главных напряжений и формы потери устойчивости приопорных зон стенок моделей вертикально и наклонно-гофрированных балок с углом наклона образующих гофров к плоскости сечения балки 20 градусов

Базовая модель – угол наклона образующих гофров 0 градусов	Модель с восходящими гофрами – угол наклона образующих гофров 20	Модель с нисходящими гофрами – угол наклона образующих гофров 20
Изополя главных растягивающих напряжений на приопорном участке стенки, кН/см^2		
Изополя главных сжимающих напряжений на приопорном участке стенки, кН/см^2		
Изополя касательных напряжений на приопорном участке стенки, кН/см^2		
Форма потери устойчивости стенки		

На основании анализа полученных данных можно сделать следующие выводы:

- увеличение угла наклона образующих восходящих гофров от 0 до 30 градусов вызывает увеличение главных напряжений (причем сжимающих больше) в нижних углах приопорных частей стенки, что может привести к местным пластическим деформациям или потере местной устойчивости плоских элементов гофров в этой части стенки, о чем свидетельствуют пониженный коэффициент устойчивости (таблица 1) и полученная расчетом форма потери ею устойчивости (таблица 4);
- увеличение угла наклона образующих нисходящих гофров от 0 до 30 градусов вызывает увеличение главных напряжений (причем растягивающих больше) в верхних углах приопорных частей стенки, что может также привести к местным пластическим деформациям элементов гофров и повышению «общей» устойчивости гофрированной стенки в этой части, о чем свидетельствуют повышенный коэффициент устойчивости (таблица 1) и полученная расчетом форма потери ею устойчивости (таблица 4);
- наклонное гофрирование не включает стенку в работу балки на изгиб, но вызывает сжатие (при восходящих гофрах) или растяжение (при нисходящих гофрах) в ней вдоль гофров, чем частично перераспределяет усилия между поясами в зоне действия перерезывающих усилий: так при восходящих гофрах – разгружается верхний пояс и догружается нижний; при нисходящих гофрах – наоборот;
- независимо от угла наклона образующих гофров нормальные напряжения в поперечных сечениях поясов распределяются неравномерно, что вызвано периодическим смещением стенки с оси балки, частично работающей совместно с поясом [20];
- увеличение угла отклонения гофров в любом направлении от плоскости поперечного сечения балок (до 30 градусов) вызывает незначительное повышение их деформативности.

Выводы

Численным экспериментом установлено, что при наклонном гофрировании тонких стенок стальных балок наиболее эффективным вариантом является нисходящий наклон гофров, так как он дополнительно заметно повышает «общую» устойчивость гофрированной стенки. Возникающие при этом в верхних углах приопорных зон стенок повышенные местные растягивающие вдоль гофров напряжения в балках, выполненных из пластичных сталей и не испытывающих динамических воздействий, как представляется, можно допустить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Дмитриева Т.Л., Уламбаяр Х. Использование балок с гофростенкой в современном проектировании // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 4 (15). С. 132–139.
3. Тишков Н.Л. Оценка экономической целесообразности применения арочных двутавровых стержней с тонкой поперечно-гофрированной стенкой // Вестник ТОГУ. 2017. №3(46). С. 103-108.
4. 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.
5. Khalid Y.A., Chan C.L., Sahari B.B., Hamouda A.M.S. Bending behaviour of corrugated web beams // J. Mater. Process. Technol. 2004. No. 150(3). Pp. 242–254.
6. Abbas H.H., Sauce R., Driver, R.G. Analysis of flange transverse bending of corrugated web I-girders under in-plane loads // Journal of Structural Engineering. 2007. Vol. 133, Issue 8. Pp. 347-355.
7. Митрофанов С.В., Митрофанов В.А. Работа балки с гофрированной стенкой с различными профилями гофрирования // Строительство и техногенная безопасность. 2017. № 9 (61). С. 87–92.
8. Elamary A., Saddek A.B., Alwetaishi M. Effect of corrugated web on flexural capacity of steel beams // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 12. Pp. 470–481.

9. Степаненко А.Н., Тишков Н.Л. Рекомендации по расчету стальных балок покрытий зданий из двутавра с тонкой волнистой стенкой. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. 60 с.
10. Denan F., Shoong K. K., Hashim N. S., Ken C. W. Nonliner analysis of triangular web profile steel section under bending behavior // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2019. No. 9. Pp. 463–472. doi:10.1007/978-981-10-8016-6_38.
11. Макеев С.А., Силина Н.Г. Разработка методики уточненного расчета гофробалок на общую устойчивость // *Промышленное и гражданское строительство*. 2020. № 12. С. 52–60. doi:10.33622/0869-7019.2020.12.52-60.
12. Al-Kannoon M.A., Suhel I.A. Experimentally Flexural Behaviour Study of Steel Beams with Corrugated Webs // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 888. doi:10.1088/1757-899X/888/1/012084.
13. Arunakanthi E., Veera Praveen Reddy P. Analysis of trapezoidal corrugated steel web beams with different angle of inclination by ANSYS // *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol. 29 (3). Pp. 3413–3426.
14. Саиян С.Г., Паушкин А.Г. Численное параметрическое исследование напряженно-деформированного состояния двутавровых балок с различными типами гофрированных стенок // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 6. С. 676–687. doi:10.22227/1997-0935.2021.6.676-687.
15. Tishkov N.L., Stepanenko A.N. Improving the Efficiency of I-Beams with a Thin Transverse Corrugated Web Plate // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, Volume 1079, Chapter 1. doi:10.1088/1757-899X/1079/2/022077.
16. Холопов И.С., Лукин А.О., Козырев П.Н. Совершенствование конструкции балки с гофрированной стенкой // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре*. Самара. 2015. С. 68-71.
17. Лукин А.О., Алпатов В.Ю., Чернышев Д.Д. Совершенствование конструктивного решения балки с гофрированной стенкой // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*. 2016. № 2(23). С. 4-9. doi:10.17673/Vestnik.2016.02.1.
18. Тишков Н.Л., Степаненко А.Н., Шипелев И.Л., Устименко М.Б. Совершенствование конструкции стальной двутавровой балки с тонкой поперечно-гофрированной стенкой // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2020. № 22(2). С. 104-111. doi:10.31675/1607-1859-2020-22-2-104-111.
19. ЛИРА-САПР. Верификационный отчет. Том I. Москва, 2015. 51 с.
20. Степаненко А.Н., Тишков Н.Л. О дополнительных усилиях в поясах стальных балок с тонкими поперечно-гофрированными стенками // *Вестник ТОГУ*. Хабаровск, 2014. № 4(35). С. 49-52

REFERENCES

1. Solov'yev A.V., Lukin A.O., Alpatov V.YU. Analiz effektivnosti primeneniya dvutavrovogo elementa s gofirovannoy stenкой pri rabote v slozhnom napryazhenno-deformirovannom sostoyanii [Analysis of the effectiveness of the use of an I-beam element with a corrugated wall when working in a complex stress-strain state] // *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2010. No. 6. Pp. 27–30. (rus)
2. Dmitriyeva T.L., Ulambayar X. Ispol'zovaniye balok s gofrostenкой v sovremennom proyektirovani [The use of beams with a corrugated wall in modern design. *Izvestiya vuzov*] // *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2015. No. 4(15). Pp. 132–139. (rus)
3. Tishkov N.L. Otsenka ekonomicheskoy tselesoobraznosti primeneniya arochnykh dvutavrovyykh sterzhney s tonкой poperechno-gofirovannoy stenкой [Evaluation of the economic feasibility of using arched I-beams with a thin transversely corrugated wall] // *Vestnik TOGU*. 2017. No. 3(46). Pp. 103-108. (rus)
4. Bryantsev A.A., Absimetov V.E., Lalin V.V. Effektivnost' primeneniya dvutavrov s gofirovannymi stenkami v proizvodstvennykh zdaniyakh [The effectiveness of the use of I-beams with corrugated walls in industrial buildings] // *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2017. No. 3(54). Pp. 93-104. (rus)
5. Khalid Y.A., Chan C.L., Sahari B.B., Hamouda A.M.S. Bending behaviour of corrugated web beams // *J. Mater. Process. Technol.* 2004. No. 150(3). Pp. 242–254.
6. Abbas H.H., Sauce R., Driver, R.G. Analysis of flange transverse bending of corrugated web I-girders under in-plane loads // *Journal of Structural Engineering*. 2007. Vol. 133. Issue 8. Pp. 347-355.
7. Mitrofanov S.V., Mitrofanov V.A. Rabota balki s gofirovannoy stenкой s razlichnymi profilyami gofirovaniya [Work of a beam with a corrugated wall with different corrugation profiles] // *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2017. No. 9 (61). Pp. 87–92. (rus)
8. Elamary A., Saddek A.B., Alwetaishi M. Effect of corrugated web on flexural capacity of steel beams // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017. Vol. 12. Pp. 470–481.
9. Stepanenko A.N., Tishkov N.L. Rekomendatsii po raschetu stal'nykh balok pokrytiy zdaniy iz dvutavra s tonкой volnistoy stenкой [Recommendations for the calculation of steel beams for roofing buildings from an I-beam with a thin wavy wall]. Khabarovsk : Izd-vo Tikhookean. gos. un-ta, 2018. 60 p. (rus)

10. Denan F., Shoong K. K., Hashim N. S., Ken C. W. Nonlinear analysis of triangular web profile steel section under bending behavior // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2019. No. 9. Pp. 463–472. doi:10.1007/978-981-10-8016-6_38.
11. Makeyev S.A., Silina N.G. Razrabotka metodiki utochnennogo rascheta gofrobalk na ob-shchuyu ustoychivost' [Development of a methodology for the refined calculation of corrugated beams for overall stability] // *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2020. No. 12. Pp. 52–60. doi:10.33622/0869-7019.2020.12.52-60.
12. Al-Kannoon M.A., Suhel I.A. Experimentally Flexural Behaviour Study of Steel Beams with Corrugated Webs // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 888. doi:10.1088/1757-899X/888/1/012084.
13. Arunakanthi E., Veera Praveen Reddy P. Analysis of trapezoidal corrugated steel web beams with different angle of inclination by ANSYS // *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol. 29 (3). Pp. 3413–3426.
14. Saiyan S.G., Paushkin A.G. Chislennoye parametricheskoye issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya dvutavrovyykh balok s razlichnymi tipami gofrirovannykh stenok [Numerical parametric study of the stress-strain state of I-beams with various types of corrugated walls] // *Vestnik MGSU*. 2021. Vol. 16. No.6. Pp. 676–687. doi:10.22227/1997-0935.2021.6.676-687. (rus)
15. Tishkov N.L., Stepanenko A.N. Improving the Efficiency of I-Beams with a Thin Transverse Corrugated Web Plate // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Volume 1079, Chapter 1. doi:10.1088/1757-899X/1079/2/022077.
16. Kholopov I.S., Lukin A.O., Kozyrev P.N. Sovershenstvovaniye konstruktssii balki s gofirovannoy stenкой [Improving the design of a beam with a corrugated wall] // *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture*. Samara. 2015. Pp. 68–71. (rus)
17. Lukin A.O., Alpatov V.YU., Chernyshev D.D. Sovershenstvovaniye konstruktivnogo resheniya balki s gofirovannoy stenкой [Improvement of the constructive solution of a beam with a corrugated wall] // *Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura*. 2016. No. 2(23). Pp. 4–9. doi:10.17673/Vestnik.2016.02.1. (rus)
18. Tishkov N.L., Stepanenko A.N., Shipilev I.L., Ustimenko M.B. Sovershenstvovaniye konstruktssii stal'noy dvutavrovoy balki s tonкой poperechno-gofirovannoy stenкой [Improving the design of a steel I-beam with a thin transversely corrugated wall] // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2020. No. 22(2). Pp. 104–111. doi:10.31675/1607-1859-2020-22-2-104-111. (rus)
19. LIRA-SAPR. Verifikatsionnyy otchet [verification report]. Tom I. Moskva, 2015. 51 p.
20. Stepanenko A.N., Tishkov N.L. O dopolnitel'nykh usiliyakh v poiyasakh stal'nykh balok s ton-kimi poperechno-gofirovannymi stenkami [On additional efforts in the belts of steel beams with thin transversely corrugated walls] // *Vestnik TOGU. Khabarovsk*, 2014. No. 4(35). Pp. 49–52. (rus)

Информация об авторах:

Тишков Николай Леонидович

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», г. Хабаровск, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство».
E-mail: n.tishkov87@gmail.com

Степаненко Анатолий Николаевич

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», г. Хабаровск, Россия,
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство».
E-mail: 000419@pnu.edu.ru

Information about authors:

Tishkov Nikolay L.

Pacific National University, Khabarovsk, Russia,
candidate in technical sciences, docent, associated professor of the department of Industrial and Civil Engineering.
E-mail: n.tishkov87@gmail.com

Stepanenko Anatoliy N.

Pacific National University, Khabarovsk, Russia,
doctor in technical sciences, docent, professor of the department of Industrial and Civil Engineering.
E-mail: 000419@pnu.edu.ru