

DOI 10.15826/rjctst.2025.1.002

УДК 624.014

А. С. Митянин¹, С. В. Кудрявцев²

^{1,2} Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

e-mail: ¹andreymitianin@yandex.ru, ²s.v.kudryavtsev@urfu.ru

ORCID: ²<https://orcid.org/0000-0001-8096-4421>

СТАЛЬНЫЕ СВАРНЫЕ ПОДКРАНОВЫЕ БАЛКИ С ТОНКОЙ ГОФРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 20–50 т ПРОЛЕТАМИ БАЛОК 6 И 12 м

Аннотация. В статье представлены результаты комплексного исследования стальных сварных подкрановых балок с тонкой гофрированной стенкой, предназначенных для работы с мостовыми кранами среднего (4К-5К) режима работы грузоподъемностью 20–50 т на пролетах 6 и 12 м. Основное внимание уделяется анализу прочностных характеристик и особенностей работы конструкций при различных режимах нагружения, характерных для промышленных зданий.

Проводится сравнительный анализ типовых подкрановых балок с плоской стенкой и балок с гофрированной стенкой. Продемонстрировано преимущество подкрановых балок с гофрированной стенкой над типовыми подкрановыми балками с плоской стенкой в контексте снижения материалоемкости и оптимизации производственного времени при сохранении необходимой несущей способности.

По полученным результатам предлагается применение балок с гофрированной стенкой в качестве подкрановых конструкций при пролетах до 12 м и грузоподъемностью до 50 т. Целью исследования является изучение возможности применения балок с гофрированной стенкой в качестве подкрановых конструкций среднего (4К-5К) режима работы, с точки зрения экономической и практической целесообразности при пролетах 6 и 12 м с грузоподъемностью до 50 т.

Ключевые слова: подкрановые балки, гофрированная стенка, прочность, устойчивость, экономическая целесообразность, металлические конструкции

Для цитирования: Митянин А. С., Кудрявцев С. В. Стальные сварные подкрановые балки с тонкой гофрированной стенкой грузоподъемностью 20–50 т пролетами балок 6 и 12 м // Russian Journal of Construction Science and Technology. – 2025.– Т. 11. – № 1. – 1101002. – DOI 10.15826/rjctst.2025.1.002.

A. S. Mityanin¹, S. V. Kudryavtsev²

^{1,2} Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

e-mail: ¹andreymitianin@yandex.ru, ²s.v.kudryavtsev@urfu.ru

ORCID: ²<https://orcid.org/0000-0001-8096-4421>

STEEL WELDED CRANE BEAMS WITH A THIN CORRUGATED WALL WITH A LIFTING CAPACITY OF 20-50 TONS WITH SPANS OF 6 AND 12 m

Abstract. The article presents the results of a comprehensive study of steel welded crane beams

with a thin corrugated wall designed to work with overhead cranes of medium (4K-5K) operating modes with a lifting capacity of 20-50 tons at spans of 6 and 12 m. The main attention is paid to the analysis of the strength characteristics and operation features of structures under various loading conditions typical for industrial buildings.

A comparative analysis of typical crane beams with a flat wall and beams with a corrugated wall is carried out. The advantage of crane beams with a corrugated wall over typical crane beams with a flat wall is demonstrated in the context of reducing material consumption and optimizing production time while maintaining the necessary load-bearing capacity.

According to the results obtained, it is proposed to use beams with a corrugated wall as crane structures with spans of up to 12 m and a lifting capacity of up to 50 tons.

The purpose of the study is to study the possibility of using beams with a corrugated wall as crane structures of medium (4K-5K) operating mode, from the point of view of economic and practical feasibility with spans of 6 and 12 m with a lifting capacity of up to 50 tons.

Key words: crane beams, corrugated wall, strength, stability, economic feasibility, metal structures

For citation: Mityanin A. S., Kudryavtsev S. V. (2025) Steel welded crane beams with a thin corrugated wall with a lifting capacity of 20-50 tons with beam spans of 6 and 12 meters. Russian Journal of Construction Science and Technology. 11(1). 1101002. (In Russ.) DOI 10.15826/rjct.2025.1.002.

1. Введение

Актуальность исследования. В современном строительстве активно используются различные типы металлических конструкций, среди которых особое место занимают подкрановые балки. Они являются важным элементом промышленных зданий и обеспечивают надёжное опирание и перемещение мостовых кранов. Одним из перспективных направлений развития подкрановых балок является изучение возможности и целесообразности использования стальных сварных конструкций с тонкой гофрированной стенкой для их эксплуатации в качестве подкрановых для легких и средних режимов работы.

Основное преимущество использования стальных сварных балок с гофрированными стенками в качестве подкрановых заключается в их структурной целостности и эффективности. Гофрированная конструкция более равномерно распределяет напряжение по балке, предотвращая выпучивание стенки и повышая общую устойчивость. Эта конструкция также снижает расход материала и затраты, сохраняя при этом высокую производительность. Современные

разработки в области сварки, включая использование автоматизированных и полуавтоматических процессов, еще больше упростили производство этих балок, гарантируя точность и качество их применения.

Таким образом, стальная сварная подкрановая балка с тонкой гофрированной стенкой представляет собой перспективное направление в области строительства и машиностроения, способствующее снижению металлоёмкости, повышению надёжности, скорости в производстве и улучшению эксплуатационных характеристик подкрановых сооружений.

В строительстве идет тенденция к снижению металлоёмкости конструкций [1–6]. Активно пополняется нормативная база, для использования таких конструкций в строительстве [7]. Также отмечено, что балки с гофрированной стенкой под многоцикловой нагрузкой более долговечны, чем обычные с плоской стенкой [8].

Не стоит опускать и имеющие недостатки подобных конструкций, в частности:

1. «Эффект гармошки» – явление, при котором гофрированная стенка балки не

способна эффективно воспринимать нормальные усилия в продольном направлении [9–12].

2. Влияние поперечных сил на общий прогиб подкрановой балки, т. к. установлены довольно существенные ограничения прогибов, обусловленные технологическими факторами [13–14].

3. Прерывистый шов нежелателен для приварки гофрированной стенки к поясам [15].

2. Определение геометрических характеристик сечений

Балка с гофрированной стенкой – это специальная конструкция, состоящая из нескольких частей разного поперечного сечения и металлической стенки с небольшой толщиной. Эта стенка по направлению поперек изогнута. В наше время такие балки активно используются для создания перекрытий в многоэтажных зданиях, для создания большепролетных покрытий в промышленных объектах и даже как элементы купольных конструкций административных зданий.

Балки с гофрированной стенкой могут выступать в качестве:

- как несущие конструкции при строительстве зданий;
- в качестве специальных конструкций;
- как подкрановые балки.

В данной статье мы рассматриваем их в качестве подкрановых.

К основным геометрическим характеристикам балки с гофрированной стенкой относятся такие характеристики как: высота гофр f , шаг гофр a , ширина панели гофры b_w и угол гофрирования α (рис. 1–2).

3. Нагрузки и расчетные усилия в подкрановой балке

Для расчета подкрановых балок с гофрированной стенкой в настоящей работе приняты краны грузоподъемностью $Q = 20$ т, 30 т и 50 т среднего режимов работы, с пролетами 6 и 12 м [16].

Для сравнения металлоемкости подкрановых балок пролетом 6 и 12 м была взята Серия 1.426.2–7. Вып. 3 [17].

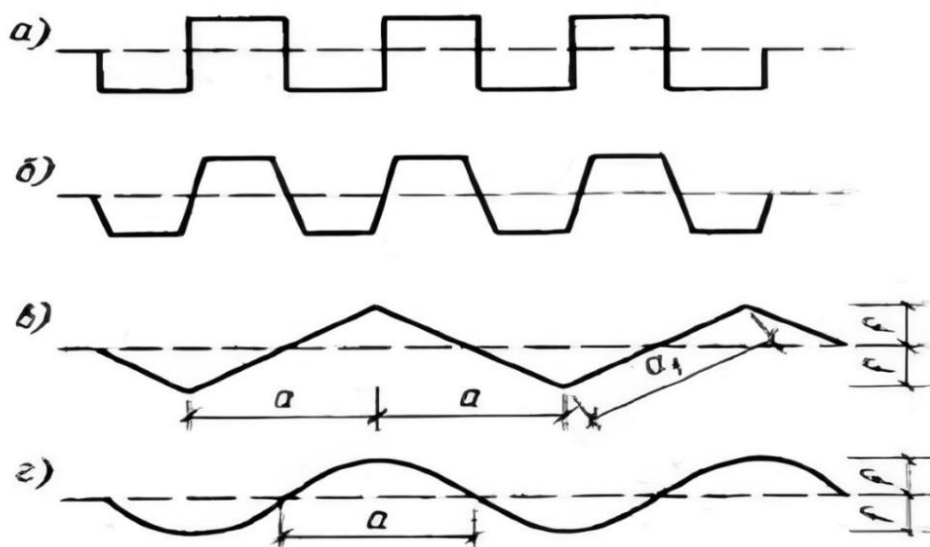


Рис. 1. Наиболее распространённые виды гофр (рисунок авторов)

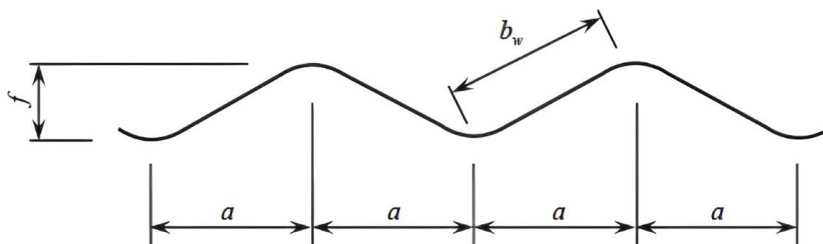


Рис. 2. Геометрические параметры гофрированной стенки (рисунок авторов)

Таблица 1

Расчетные усилия в подкрановых балках

Пролет балки, м	Грузоподъемность крана Q , т	Для расчета по первой группе предельных состояний		
		M_x , т·м	M_y , т·м	Q_{max} , т
6	20	35,99	1,56	35,99
	30	68,93	2,23	49,57
	50	107,22	4,08	78,63
12	20	132,55	4,2	52,1
	30	172,25	6,57	68,68
	50	271,04	10,31	109,26

Таблица 2

Характеристики рассматриваемых сечений с плоской стенкой

Пролет балки, м	Грузоподъемность крана Q , т	Сечение балки с плоской стенкой		
		Верхний пояс	Стенка	Нижний пояс
6	20	400x12	640x6	220x12
	30	400x14	840x8	280x10
	50	400x14	840x8	320x14
12	20	400x12	1040x8	250x12
	30	400x14	1040x8	320x14
	50	400x14	1240x10	280x14

Таблица 3

Характеристики рассматриваемых сечений с гофрированной стенкой

Пролет балки, м	Грузоподъемность крана Q, т	Сечение балки с гофрированной стенкой		
		Верхний пояс	Стенка	Нижний пояс
6	20	400x12	540x5	220x12
	30	400x14	840x5	280x10
	50	400x14	780x7	320x14
12	20	400x12	900x4	380x12
	30	400x14	1040x6	320x14
	50	400x14	1240x8	280x14

4. Проверка прочности подкрановой балки с гофрированной стенкой

Для подкрановых балок с гофрированной стенкой также, как и для обычных балок с плоской стенкой, должны быть выполнены следующие условия прочности:

– проверка прочности для верхнего пояса при действии моментов в двух главных плоскостях:

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_{x1}} + \sigma_y = \frac{M_y}{W_{y2}} \leq R_y \cdot \gamma_c,$$

– проверка прочности для нижнего пояса:

$$\sigma_x = \frac{M}{W_{x2}} \leq R_y \cdot \gamma_c,$$

– проверка прочности стенки:

$$\sigma_x = \frac{M}{I_x} \cdot \frac{h_w}{2} \leq R_y \cdot \gamma_c,$$

где M_x и M_y – расчетные изгибающие моменты в подкрановой балке в вертикальной и горизонтальной плоскости соответственно;

W_{x1} и W_{y2} – моменты сопротивления сечения в уровне верхнего пояса балки;

W_{x2} – моменты сопротивления сечения в уровне нижнего пояса балки;

R_y – расчетное сопротивление материала пояса по пределу текучести;

h_w – высота стенки;

I_x – момент инерции относительно оси x ;
 γ_c – коэффициент условий работы конструкции.

Стенка подкрановой балки находится в условиях сложного напряженного состояния, и ее прочность оценивается из выражения:

$$\frac{0,87}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq 1;$$

$$\tau_{xy} / R_s \cdot \gamma_c \leq 1,$$

где $\sigma_x = \frac{M}{I_x} \cdot \frac{h_w}{2}$ – нормальное напряжение в стенке на уровне поясного шва;

$\sigma_y = \gamma_f \cdot \gamma_{f1} \cdot P_{max} / (t_w \cdot l_{ef})$ – нормальные напряжения в гофрированной стенке, перпендикулярные продольной оси балки и вызываемые местным давлением колеса крана;

$\tau_{xy} = \gamma_f \cdot \gamma_{f1} \cdot P_{max} / (0,9 \cdot t_w \cdot h_w)$ – касательные напряжения в гофрированной стенке под колесом крана.

5. Определение прогибов балок с гофрированной стенкой

Поперечные силы, действующие в сечении балки с гофрированной стенкой, существенно влияют на ее деформативные свойства – увеличивают прогиб по сравнению с балкой с плоской стенкой,

находящиеся в тех же условиях [18; 19; 13].

Расчетный относительный вертикальный прогиб подкрановой балки с гофрированной стенкой должен удовлетворять условию

$$\frac{f}{L} = \left(\frac{5}{48} \cdot \frac{M_n \cdot L}{E \cdot I_x} + \frac{1}{G \cdot h_w \cdot t_w} \cdot \frac{Q_n}{4} \right) \leq \left[\frac{f}{L} \right],$$

где $E = 206000$ МПа и $G = 78000$ МПа – модуль упругости и модуль сдвига соответственно;

$[f/L]_x = 1/400$ – предельный вертикальный прогиб подкрановых балок при мостовых кранах легкого и среднего режимов работы (1К – 6К), ограниченный технологическими требованиями [18].

Расчетный относительный горизонтальный прогиб подкрановой балки с гофрированной стенкой должен удовлетворять условию

$$\frac{f}{L} = \left(\frac{1}{10} \cdot \frac{M_n \cdot L}{E \cdot I_x} + \frac{1}{G \cdot A_w} \cdot \frac{Q_n}{4} \right) \leq \left[\frac{f}{L} \right],$$

где $[f/L]$ – предельный горизонтальный прогиб подкрановых балок, ограниченный технологическими требованиями [18].

6. Полученные результаты сравнения

Результаты расчетов подкрановых балок сведены в таблицы 6, 7 и графически представлены на рис. 3–4.

Таблица 4

Предельные вертикальные прогибы f_u

Группа режима работы крана	Вертикальный предельный прогиб
1К-6К	$l/400$
7К	$l/500$
8К	$l/600$

Таблица 5

Предельные горизонтальные прогибы f_u

Группа режима работы крана	Вертикальный предельный прогиб
1К-3К	$l/500$
4К-6К	$l/1000$
7К-8К	$l/2000$

Таблица 6

Вес подобранных подкрановых балок с плоской и гофрированной стенкой пролетом 6 м на 1 п.м

Кран грузоподъемностью, т	Подкрановая балка с плоской стенкой, в кг	Подкрановая балка с гофрированной стенкой, в кг
20	88,75	79,59
30	118,69	98,91
50	131,88	121,99

Экономия металла составляет от 7,5 до 16,5% по сравнению с типовой подкрановой балкой.

Таблица 7

Вес подобранных подкрановых балок с плоской и гофрированной стенкой пролетом 12 м на 1 п. м.

Кран грузоподъемностью, т	С плоской, в кг	С гофрированной, в кг
20	126,54	101,74
30	144,44	128,11
50	172,07	152,60

Экономия металла составляет от 11 до 19,5% по сравнению с типовой подкрановой балкой.

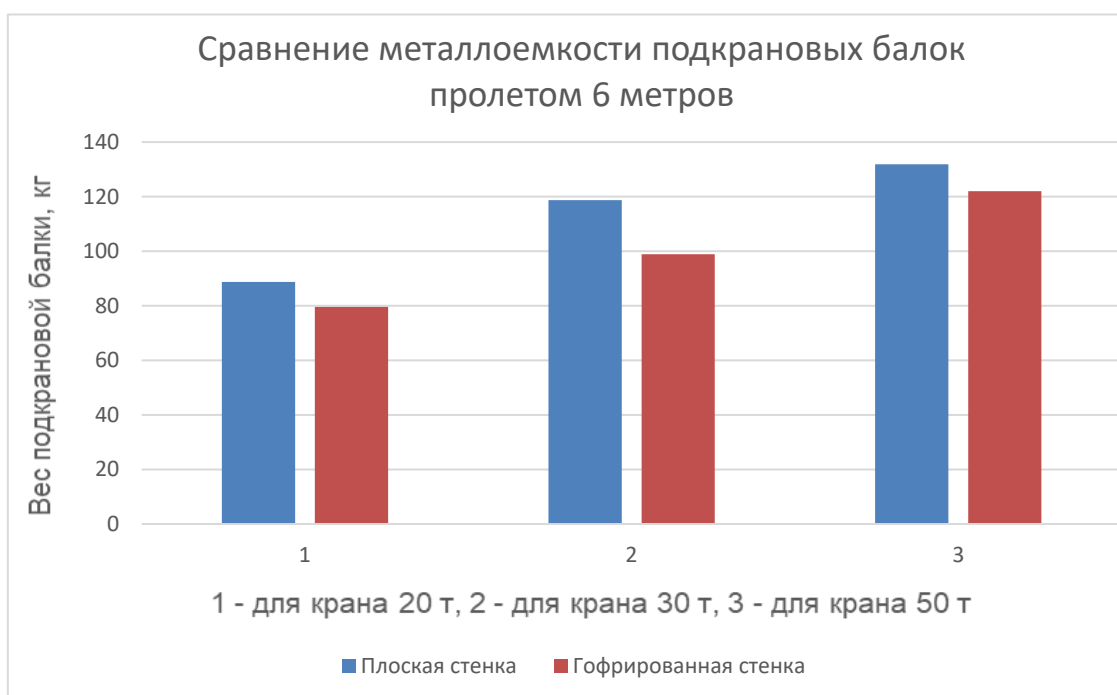


Рис. 3. Сравнительный расход стали для подкрановых балок пролетом 6 метров (рисунок авторов)

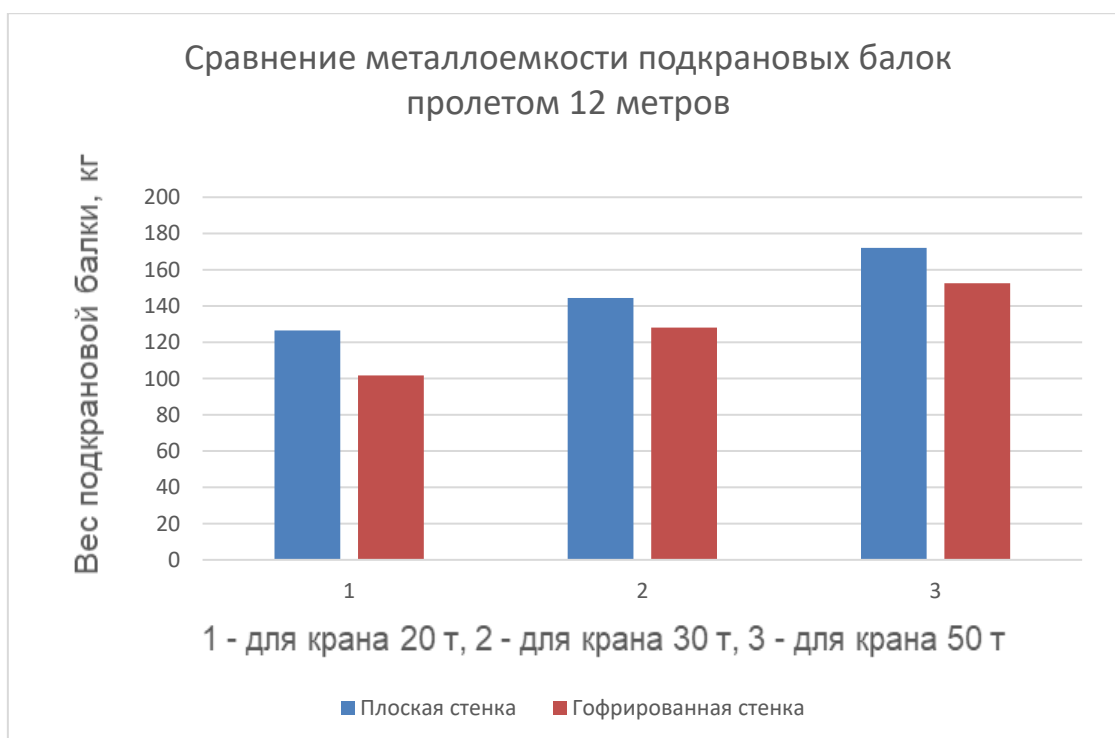


Рис. 4. Сравнительный расход стали для подкрановых балок пролетом 12 метров

7. Заключение

Анализируя полученные в настоящей работе результаты, можно сделать следующие выводы:

1. При одинаковой несущей способности подкрановые балки с гофрированной стенкой обладают меньшим весом по сравнению с подкрановыми балками с плоской стенкой, что позволяет сократить металлоемкость таких конструкций до 19,5% (рис. 3, 4).

2. При кранах среднего режима работы (4К и более) подкрановые балки обязательно должны эксплуатироваться

совместно с тормозными конструкциями вне зависимости от типа стенки [18].

3. Использование гофрированной стенки в подкрановых балках не только облегчает их, но и повышает скорость изготовления в силу отсутствия необходимости устанавливать рёбра жесткости.

4. Технология производства гофрированных стенок позволяет изготавливать гофры различной высоты (50 мм, 60 мм, 70 мм и более) с толщиной от 2 до 10 мм, что значительно расширяет область их применения в различных конструкциях.

Список используемых источников

1. Гайфуллина К. В. Перспектива применения двутавров с гофрированными стенками в сейсмостойком строительстве в условиях импортозамещения // VII Международный студенческий строительный форум — 2022: сб. докл. VII Междунар. студ. строит. форума, Белгород, 24 ноября 2022 г. — Белгород: Белгород. гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова, 2022 — С. 33–39. — EDN PDJGRP.
2. Горнов В.Н. Новые тонкостенные конструкции // Проект и стандарт. — 1937. — №4. — С. 25–28.
3. Рыбкин И.С. Совершенствование конструктивных решений, методов моделирования и расчета гофрированных элементов: автореф. дис. канд. техн. наук.—М.: МГСУ, 2008—536 с.
4. Строительный элемент типа балки: а.с. 857389 СССР: Е 04 С 3/07 / И.А. Штейнбок, А.И. Тимофеев, О.В. Тислак (СССР).— № 2840548/29–33; заявл. 21.11.79.; опубл. 23.08.81.—Бюл. № 31.— 2 с.
5. Shon S., Jin S., Lee S. Minimum weight design of sinusoidal corrugated web beam using real coded genetic algorithms // Hindawi Mathematical Problems in Engineering. — 2017 — 9184292.

6. Kassimali, A. Matrix Analysis of Structures / A. Kassimali. — Cengage Learning, 2019. — 656 p. — ISBN 978-1-337-61408-5.
7. ГОСТ Р 70006-2022. Двутавры стальные сварные с поперечно-гофрированной стенкой для строительных конструкций.
8. Sause R., Abbas H.H., Driver R.G., Anami K., Fisher J.W. Fatigue Life of Girders with Trapezoidal Corrugated Webs // Journal of Structural Engineering. - 2006. - Vol. 132. - №7 - pp. 1070-1078.
9. 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.
10. Fernandez Lacabe D., Lopez C., Serna M. A. Elastic Lateral Torsional Buckling of Girders with Corrugated Web: Equivalent Section Properties Approach // Proceedings in civil engineering. — 2022 — Vol. 5 Iss. 4 — P. 344–353.
11. Jiang Z., Niu Z., Zhang A., Liu X. Design method of axial compression stability for cross section corrugated plate steel special shaped column // Thin Walled Structures. — 2024 — Vol. 194, Part A. — 111243.
12. Shaheen Y. B. I., Mahmoud A. M. Lateral torsional buckling resistance of composite steel beams with corrugated webs // Structural Engineering and Mechanics. — 2022 — Vol. 8, № 6 — P. 751–767.
13. Максимов Ю. С., Остриков Г. М., Ибраимов Н. Э. Строительные гофрированные конструкции. Результаты исследований, методика расчета, технология изготовления, опыт применения. — LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016 — 128 с.
14. Кудрявцев С. В. Расчет и проектирование сварных двутавровых профилей с волнистыми стенками. — Екатеринбург: Изд во Урал. ун та, 2017 — 60с.
15. Sayed-Ahmed E.Y. Design aspects of steel I-girders with corrugated steel webs // Electronic Journal of Structural Engineering. – 2007. – Vol. 7. – pp. 27-40.
16. ГОСТ 3332-54 Краны мостовые электрические общего назначения грузоподъемностью от 5 до 50 т среднего и тяжелого режимов работы.
17. Серия 1.426.2-7. Выпуск 3. Балки пролетом 6 и 12 м разрезные под краны общего назначения грузоподъемностью до 50 тонн.
18. Кудрявцев Сергей Владимирович, Беляева Зоя Владимировна, Чжао Вэйхан, Чжао Пэньюэ Особенности стальных подкрановых балок с треугольно-гофрированной стенкой // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2024. №2 (61).
19. Кудрявцев С. В. Расчет и проектирование сварных двутавровых профилей с волнистыми стенками. — Екатеринбург: Изд во Урал. ун та, 2017 — 60 с.

References

1. Gaifullina, K. V. (2022). Prospects for the use of I-beams with corrugated walls in seismic-resistant construction under import substitution conditions. In VII International Student Construction Forum (pp. 33–39). Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. EDN PDJGRP.
2. Gornov, V. N. (1937). New thin-walled structures. Project and Standard, 4, 25–28.
3. Rybkin, I. S. (2008). Improvement of design solutions, modeling methods, and calculation of corrugated elements. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Moscow: MGSU.
4. Shteinbok, I. A., Timofeev, A. I., & Tislak, O. V. (1979). Building element of beam type: USSR patent 857389: E 04 C 3/07. Bulletin No. 31.
5. Shon, S., Jin, S., & Lee, S. (2017). Minimum weight design of sinusoidal corrugated web beam using real coded genetic algorithms. Hindawi Mathematical Problems in Engineering, 2017, 9184292.
6. Kassimali, A. (2019). Matrix Analysis of Structures. Cengage Learning.
7. GOST R 70006-2022. Steel welded I-beams with cross-corrugated web for building structures.
8. Sause, R., Abbas, H. H., Driver, R. G., Anami, K., & Fisher, J. W. (2006). Fatigue Life of Girders with Trapezoidal Corrugated Webs. Journal of Structural Engineering, 132(7), 1070–1078.
9. Huang, L., Hikosaka, H., & Komine, K. (2004). Simulation of accordion effect in corrugated steel web with concrete flanges. Computers and Structures, 82, 2061–2069.
10. Fernandez Lacabe, D., Lopez, C., & Serna, M. A. (2022). Elastic Lateral Torsional Buckling of Girders with Corrugated Web: Equivalent Section Properties Approach. Proceedings in civil engineering, 5(4), 344–353.
11. Jiang, Z., Niu, Z., Zhang, A., & Liu, X. (2024). Design method of axial compression stability for cross section

- corrugated plate steel special shaped column. *Thin Walled Structures*, 194, Part A, 111243.
12. Shaheen, Y. B. I., & Mahmoud, A. M. (2022). Lateral torsional buckling resistance of composite steel beams with corrugated webs. *Structural Engineering and Mechanics*, 8(6), 751–767.
 13. Maksimov, Yu. S., Ostrikov, G. M., & Ibragimov, N. E. (2016). Building corrugated structures. Research results, calculation method, manufacturing technology, application experience. LAP LAMBERT Academic Publishing.
 14. Kudryavtsev, S. V. (2017). Calculation and design of welded I-beam profiles with wavy walls. Yekaterinburg: Ural University Publishing House.
 15. Sayed-Ahmed, E. Y. (2007). Design aspects of steel I-girders with corrugated steel webs. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 7, 27–40.
 16. GOST 3332-54. Electric overhead cranes of general purpose with a lifting capacity of 5 to 50 tons for medium and heavy duty service.
 17. Series 1.426.2-7. Issue 3. Beams with a span of 6 and 12 meters, cut for cranes of general purpose with a lifting capacity of up to 50 tons.
 18. Kudryavtsev, S. V., Belyaeva, Z. V., Zhao, W., & Zhao, P. (2024). Features of steel crane beams with triangular corrugated walls. *Academic Bulletin of Urals NIIproject RASCN*, 2(61).
 19. Kudryavtsev, S. V. (2017). Calculation and design of welded I-beam profiles with wavy walls. Yekaterinburg: Ural University Publishing House.

Получено: 20.05.25
Прошла рецензирование: 20.06.25
Принята к публикации: 07.07.25
Доступно он-лайн: 01.08.25

Received: 20.05.25
Revised: 20.06.25
Accepted: 07.07.25
Available on-line: 01.08.25