УДК 624.046 DOI: 10.33622/0869-7019.2020.10.48-54

Элементы сварного двутаврового сечения с гофрированной стенкой – обновленный раздел свода правил «Конструкции стальные. Правила проектирования»

Наталья Геннадьевна СИЛИНА[1], исполнительный директор, e-mail: n.silina@stako.ru

Екатерина Александровна ПОНУРОВА[1], заместитель директора по научно-методической работе, e-mail: e.ponurova@stako.ru

Лариса Владимировна КРАСОТИНА[2], кандидат технических наук, доцент, e-mail: krasotina.larisa@gmail.com

[1] ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова», 117997 Москва, ул. Архитектора Власова, 49

[2] ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», 644080 Омск, просп. Мира, 5

Аннотация. *В мировой практике строительства одно из активно развивающихся направлений – использование в конструкциях различных зданий и сооружений легких стальных тонкостенных пространственных конструкций. К их числу относятся и сварные двутавры с гофрировкой стенок различного типа. При проектировании зданий и сооружений элементы сварного двутаврового сечения с гофрированной стенкой широко применяют в качестве балок, колонн, рам, арок и т. д. Направление по применению элементов сварного двутаврового сечения с гофрированной стенкой в конструкциях зданий и сооружений требует дальнейшего развития. При разработке изменения № 2 к своду правил «Конструкции стальные. Правила проектирования» раздел «Элементы сварного двутаврового сечения с гофрированной стенкой» был дополнен правилами расчета строительных конструкций из сварных двутавров с поперечно-гофрированной стенкой с треугольной формой гофров. Уже более 40 лет такие конструкции применяют в Республике Казахстан. В работе использованы официальные нормативные документы Казахстана. Один из авторов этих норм активно участвовал в разработке проекта данного изменения к российскому стандарту. В разделе даны рекомендации по выбору стали, расчету и конструированию элементов строительных конструкций из сварных двутавров с поперечно-гофрированной стенкой с синусоидальной и треугольной формой гофров.*

Ключевые слова: *стальные конструкции, двутавры с поперечно-гофрированной стенкой, несущая способность, устойчивость, расчет, гофрированный лист, синусоидальная и треугольная формы гофров.*

ELEMENTS OF A WELDED I-SECTION WITH A CORRUGATED WALL – AN UPDATED SECTION OF THE SET OF RULES “STEEL STRUCTURES. DESIGN RULES”

Natalia G. SILINA[1], e-mail: n.silina@stako.ru

Ekaterina A. PONUROVA[1], e-mail: e.ponurova@stako.ru

Larisa V. KRASOTINA[2], e-mail: krasotina.larisa@gmail.com

[1] Melnikov Central Research and Design Institute of Steel Structures, ul. Arkhitektora Vlasova, 49, Moscow 117997, Russian Federation

[2] Siberian Automobile and Highway Universitety («SibADI»), prospect Mira, 5, Omsk 644080, Russian Federation

Abstract. *Currently, in the world practice of construction, one of the actively developing directions is the use of light steel thin-walled spatial structures in the structures of various buildings and structures. These include welded I-beams with corrugated walls of various types. In the design of buildings and structures, elements of a welded I-section with a corrugated wall are widely used as beams, columns, frames, arches, etc. Direction for the use of elements of a welded I-section with a corrugated wall in the structures of buildings and structures requires further development. When developing amendment no. 2 to "Steel structures. Design rules", Section 20.6 "Elements of a welded I-section with a corrugated wall" was supplemented with the rules for calculating building structures from welded I-beams with a transverse corrugated wall with a triangular corrugation. For more than 40 years, such structures have been used in the Republic of Kazakhstan. The work used the official regulatory documents of the Republic of Kazakhstan, the author of which actively participated in the development of the draft Amendment №. 2 to Russian standard. The section provides recommendations on the choice of steel, calculation and design of structural elements from welded I-beams with a transversely corrugated wall with a sinusoidal and triangular corrugation.*

Key words: *steel structures, I-beams with a cross-corrugated wall, bearing capacity, stability, calculation, corrugated sheet, sinusoidal and triangular corrugation, cross-corrugated wall.*

© СИЛИНА Н. Г., ПОНУРОВА Е. А., КРАСОТИНА Л. В., 2020

Введение

Необходимость решения остро вставшей задачи эффективного использования стали в 1930-е гг. предопределила поиск новых конструктивных решений традиционных строительных конструкций. В этот период в нашей стране и за рубежом был выполнен ряд экспериментальных и теоретических исследований, по результатам которых и предложены к внедрению стальные балки (сварные двутавры) с поперечно-гофрированными стенками [1, 2].

С начала 60-х гг. XX в. в ряде европейских стран сварные двутавры с гофрированной стенкой активно используются в качестве элементов стальных каркасов, а с 1980-х гг. Япония и некоторые европейские страны начали их внедрять и в конструкциях автомобильных мостов. Такие двутавры нашли широкое применение в Республике Казахстан в качестве эффективного вида несущих конструкций производственных, жилых и общественных зданий [3, 4]. Особое место сварные двутавры с гофрированной стенкой занимают в конструкциях зданий и сооружений, расположенных в сейсмических районах. Например, для тренировочного корпуса универсального спортивного комплекса «Алматы Арена» в Казахстане использовали главную балку *(рис. 1)* из сварного двутавра с поперечно-гофрированной стенкой пролетом 51,6 м, высотой 4 м, толщиной стенки с треугольным очертанием гофров 8 мм. Сейсмичность площадки строительства оценивается в 10 баллов.

Институтом «Казпроектстальконструкция» разработаны типовые проекты зданий и покрытия из конструкций типа «Алма-Ата» (шифры 9-Ф88-КМ, 400-032.23.87, 400-033с.23.87). Данные конструкции представляют собой рамные каркасы из стальных сварных двутавров с тонкими гофрированными стенками. Они предназначены для одноэтажных одно- и двухпролетных отапливаемых зданий многоцелевого назначения (пролет 18 м) с неагрессивной и слабоагрессивной средой, для возведения в I—III снеговых и ветровых районах, для территорий с сейсмичностью до 9 баллов, при расчетной температуре наружного воздуха −40 °С и выше [5].

Рис. 1. ***Главная балка из сварного двутавра с поперечно-гофрированной стенкой. Строительство тренировочного корпуса универсального спортивного коммплекса «Алматы Арена», 2016 г.***

Для современной экономики актуально эффективное использование материалов для строительных конструкций и оптимизация расходов на изготовление конструкций и их монтаж. Очевидно, что для решения этих задач наиболее перспективным направлением будет применение стальных тонкостенных пространственных конструкций, к которым относятся и сварные двутавры с различным типом гофрированных стенок.

Конструкции стальных сварных двутавров с поперечно-гофрированной стенкой исследуются и совершенствуются, разрабатываются различные способы повышения их несущей способности и технологичности изготовления [6—11]. С помощью современной вычислительной техники имеется возможность использования численных методов для анализа работы стальных тонкостенных конструкций, в том числе и сварных двутавров с гофрированными стенками, проведения сопоставления результатов, полученных численными методами, с результатами экспериментальных исследований [12—17].

Для развития и расширения этого направления в первую очередь необходима нормативная техническая литература (стандарты, своды правил) на изготовление и проектирование сравнительно нового для России, технологичного и конкурентоспособного типа конструкций. Нормативы обеспечат надежность, долговечность и безопасность эксплуатации зданий и сооружений.

Впервые в 2017 г. правила проектирования (методика расчета и конструирования) сварных двутавров с синусоидально-гофрированными стенками были представлены в СП 294.1325800.2017 «Конструкции стальные. Правила проектирования» (с изменением № 1).

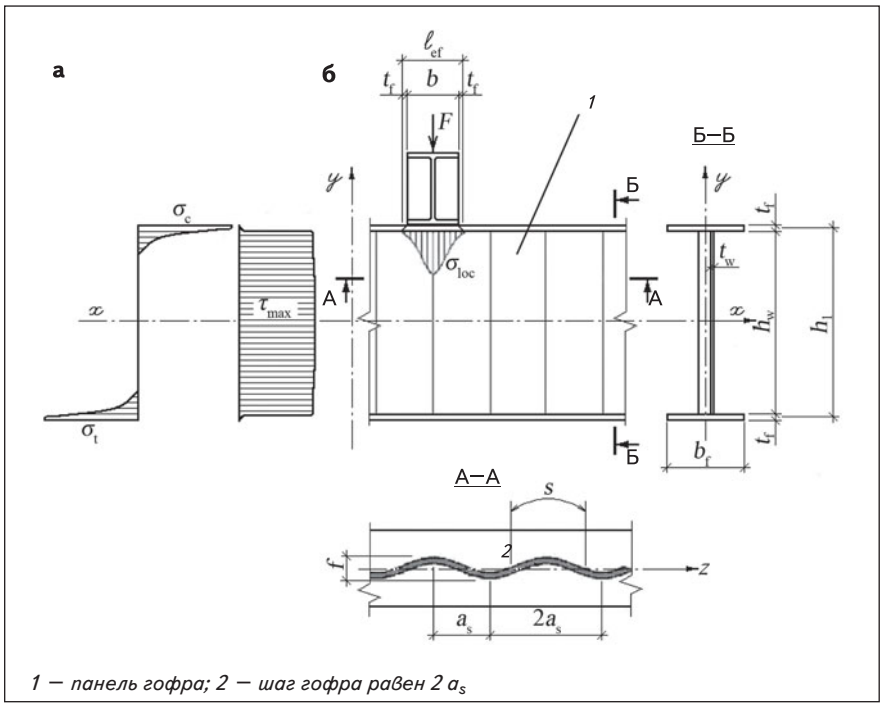
Развитие направления по применению сварного двутавра с поперечно-гофрированной стенкой в конструкциях зданий и соору-

жений в качестве балок, колонн, рам, арок и т. п. привело к необходимости дополнить разд. 20.6 «Элементы сварного двутаврового сечения с гофрированной стенкой» положениями по расчету и рекомендациями по конструированию (разработка изменения № 2 к СП 294.1325800).

Проект изменения № 2 (далее — Изменение № 2) выполнен в 2020 г. международной командой специалистов. От России и Республики Казахстан участвовали: ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова» — инженеры Н. Г. Силина, Е. А. Понурова; ФГБОУ ВО «СибАДИ» — канд. техн. наук, доцент Л. В. Красотина; научно-исследовательская и проектно-строительная фирма «УНИКОН» — канд. техн. наук В. В. Катюшин; ТОО «Институт Проектстальконструкция» (г. Алматы) — канд. техн. наук, проф. Ю. С. Максимов.

Разд. 20.6 дополнен методикой расчета сварных двутавров с поперечно-гофрированной стенкой с треугольной формой гофров. Даны подробные рекомендации по выбору стали, расчету и конструированию элементов строительных конструкций из сварных двутавров с поперечно-гофрированной стенкой с синусоидальной и треугольной формой гофров.

На основе анализа отечественного и зарубежного опыта проектирования зданий и сооружений с использованием сварных двутавров с поперечно-гофрированными стенками введен пункт 20.6.1.2, где указано, что конструкции с их применением могут иметь как постоянную, так и переменную высоту поперечного сечения и широкую область их применения (балки, колонны, рамы, арки и т. д.). Класс элементов конструкций должен назначаться в соответствии с требованиями СП 16.13330.2017 «СНиП 11-23-18 Стальные конструкции» (пункт 4.2.7) в зависимости от на-



1 — панель гофра; 2 — шаг гофра равен 2 a_s

Рис. 2. ***Эпюры напряжений (а) и схема сварного двутавра с поперечно-гофрированной стенкой с синусоидальной формой гофров (б)***

пряженно-деформированного состояния расчетного сечения для нагрузок всех видов, включая сейсмические.

Даются рекомендации по использованию материалов для поясов и стенок сварных двутавров. Указана возможность применения в поясах двутавра и гофрированных стенках стального проката как одинаковых, так и различных марок стали: для поясов по СП 16.13330, для тонких гофрированных стенок согласно ГОСТ 16523—97 «Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обыкновенного качества общего назначения. Технические условия», ГОСТ 19281—2014 «Прокат повышенной прочности. Общие технические условия (с изменением № 1)», ГОСТ 27772—2015 «Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия».

Рекомендованы к использованию следующие стали: С245, С255, С345, С355, С390, С440. При этом углеродный эквивалент для стали С440 должен быть не более 0,46 %.

Изменение № 2 допускает эффективное использование сварных двутавров с гофрированными стенками в сейсмостойких каркасах многоэтажных зданий, которые работают за пределами упругости. В таких каркасах рекомендуется применять пластичные малоуглеродистые или низколегированные стали по ГОСТ 27772 с относительным удлинением не ниже 20 % и ударной вязкостью, удовлетворяющей требованиям данного стандарта *(табл. 4),* но при условии обеспечения KCU не менее 29 Дж/см^2 при температуре испытаний —40 °С.

В подразделе «Общие положения» значительно расширен пункт, содержащий требования по использованию сварных поясных швов при различных условиях эксплуатации двутавров с поперечно-гофрированными стенками. В сварных двутаврах с синусоидальными и треугольными поперечно-гофрированными

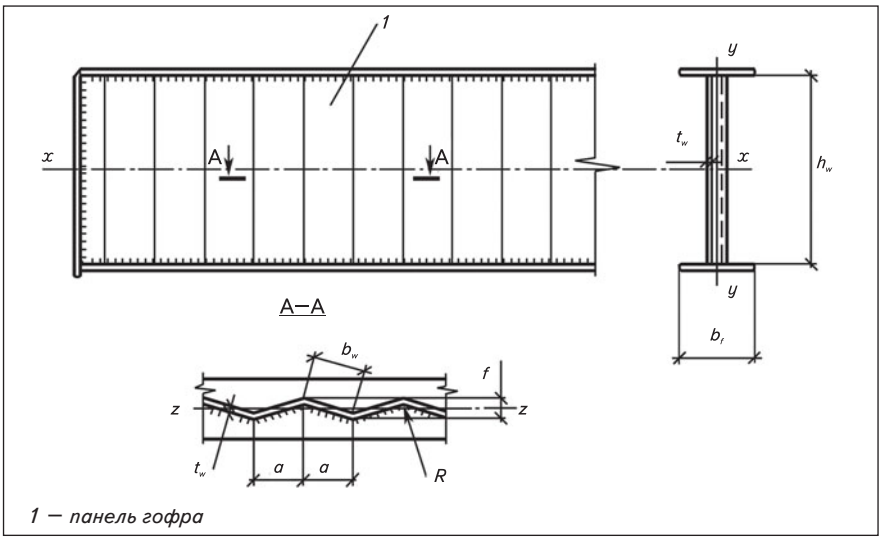


Рис. 3. ***Сварной двутавр с поперечно-гофрированной стенкой с треугольной формой гофров***

стенками рекомендуется применять как сплошные односторонние поясные швы (при толщине стенок до 5 мм включительно), так и сплошные двусторонние поясные швы (при толщине стенок более 5 мм, а также около монтажных стыков, опорных ребер, в местах приложения к поясам значительных сосредоточенных нагрузок, в узлах крепления связей и других элементов).

Одно из существенных требований к двусторонним поясным швам состоит в том, что их следует выводить за контуры прикрепляемого элемента (узла) на длину 30 k_f, где k_f — катет поясного шва, примыкающий к стенке. Приведены рекомендации по проектированию сварных швов, их применению в сварных двутаврах с поперечно-гофрированными стенками в конструкциях, эксплуатируемых в помещениях с повышенной влажностью или в агрессивных средах. В Изменении № 2 отмечено, что поясные швы в сварных двутаврах рассматриваемого типа должны выполняться автоматической или полуавтоматической сваркой только в заводских условиях.

Даны рекомендации по расчетам конструкций из двутавров с поперечно-гофрированной стенкой с помощью программных комплексов, реализующих метод конечных элементов. В расчетах на прочность, устойчивость и динамические воздействия необходимо учитывать деформативность гофрированной стенки введением в исходные данные приведенной жесткости элементов на сдвиг.

В разделе «Параметры двутавров с поперечно-гофрированными стенками» изложены рекомендации по выбору параметров поперечно-гофрированной стенки с синусоидальным и треугольным очертанием гофров.

Так, для двутавров с поперечно-гофрированной стенкой с синусоидальным очертанием гофров гибкость гофрированных стенок λ_w должна быть в пределах от 200 до 500; условная гибкость панели гофра $\bar{\lambda}_c = s/t_w\sqrt{R_y/E} \leqslant 2{,}3$, где s — развернутая длина полуволны гофра; t_w — толщина поперечно-гофрированной стенки; R_y — расчетное сопротивление стали гофрированной стенки; E — модуль упругости стали.

Также приведены максимальные и минимально возможные размеры толщины и ширины поясов сварных двутавров, значения которых ориентированы на технологические линии заводов-производителей.

Для двутавров с поперечно-гофрированной стенкой с треугольным очертанием гофров высота гофрированной стенки h_w варьируется в пределах от 1/12 до 1/30 расчетной длины конструкции. Толщина стенки t_w составляет от 1/80 до 1/500 ее высоты. Минимально возможная толщина стенки такого типа двутавров — 2 мм.

Следует отметить, что принятые значения параметров гофров должны обеспечивать условия, при которых критические напряжения местной потери устойчивости панели гофра $\tau_{p,cr}$ превышают критические напряжения потери общей устойчивости гофрированной стенки $\tau_{0,cr}$:

$$\tau_{p,cr} > \tau_{0,cr}. \qquad (1)$$

Окончательные параметры гофрированных стенок необходимо принимать с учетом технологии их изготовления.

В подразделе «Расчет элементов из двутавров с поперечно-гофрированной стенкой» приведены методики расчетов сварных двутавров с поперечно-гофрированными стенками с учетом их конструктивных особенностей при различных вариантах загружения в соответствии с требованиями СП 16.13330. Указано, что в элементах двутаврового сечения с поперечно-гофрированными стенками при поперечном изгибе происходит разделение функций работы поясов и стенок: пояса воспринимают изгибающий момент, а гофрированная стенка — только поперечную силу.

Отмечено, что расчет на прочность балок из двутавров с поперечно-гофрированными стенками при действии в сечении поперечной силы отличается от расчета балок с различным очертанием гофров стенки. Это отличие заключается во введении в усло-

вие прочности различных коэффициентов: k_λ (вычисляемый) — для двутавров с синусоидальными поперечно-гофрированными стенками, зависящий от условной гибкости стенки, и γ_{wc} (фиксированный) — коэффициент условия работы стенки на срез для двутавров с треугольными поперечно-гофрированными стенками.

В Изменении № 2 установлено, что при выполнении расчетов на прочность при одновременном действии в стенке балки изгибающего момента и поперечной силы эквивалентные напряжения рассчитываются по энергетической гипотезе Губера—Мизеса—Генки в соответствии с требованиями СП 16.13330. Однако многолетний и успешный опыт проектирования конструкций с применением двутавров с синусоидальными и треугольными поперечно-гофрированными стенками в Республике Казахстан и странах Западной Европы показывает, что имеются различия в определении эквивалентных напряжений. Например, для двутавров с треугольной поперечно-гофрированной стенкой $\sigma_x = 0$ [18, пункт 5.14], в то время как для двутавров с синусоидальной поперечно-гофрированной стенкой σ_x следует определять по рекомендуемой разработчиками Изменения № 2 зависимости:

$$\sigma_x = \sigma_f \frac{a_s}{S} k_s, \qquad (2)$$

где σ_f — нормальные напряжения в соответствующем поясе двутавра; a_s — горизонтальная проекция расстояния между двумя соседними экстремумами образующей стенку синусоиды *(рис. 2)*; s — длина полуволны гофра; k_s — корректирующий коэффициент, $k_s = 1-(\pi^2 f^2/16a_s^2)$; f — высота волны гофра.

Параметры двутавров с синусоидальной поперечно-гофрированной стенкой приведены на *рис. 2*.

Расчет на устойчивость внецентренно-сжатых элементов двутаврового сечения с поперечно-гофрированной стенкой при сжатии и изгибе в двух плоскостях (если плоскость наибольшей жесткости $I_x > I_y$ совпадает с плоскостью симметрии) также имеет свои особенности. Если момент M_y действует в плоскости одного пояса, то следует считать, что он полностью воспринимается этим поясом.

При расчете на местную устойчивость поясов балок двутаврового сечения с поперечно-гофрированными стенками следует обратить внимание на различия в определении расчетной ширины свеса пояса b_{ef}. Так, для балок двутаврового сечения с поперечно-гофрированными стенками с синусоидальной формой гофров *(см. рис. 2)* расчетная ширина свеса пояса b_{ef} равна половине конструктивной ширины пояса

$$b_{ef} = 0{,}5 b_f. \qquad (3)$$

Расчетная ширина свеса пояса для двутавров с треугольной формой гофров (*см. рис. 3*) определяется по зависимости

$$b_{ef} = 0{,}5(b_f + 0{,}7f), \qquad (4)$$

где f — высота гофра.

Выводы

1. Изменение № 2 к СП 294.1325800 дополнено методикой расчета сварных двутавров с поперечно-гофрированной стенкой с треугольной формой гофров.

2. Определена возможность эффективного применения данного типа конструкций для сейсмостойких каркасов.

3. Поскольку в практике проектирования и строительства в поясах сварных двутавров с поперечно-гофрированной стенкой могут применяться не только листовые, но и более сложные прокатные профили швеллерного, коробчатого или иного типа, запланировано исследовать и разработать методики расчета таких конструкций в следующих редакциях документа.

4. Двутавры с продольно-гофрированной стенкой, для которых также планируются разработка и внедрение расчетных методик, не рассматривают в данном Изменении.

5. Что касается высокотехнологичных и перспективных конструкций, таких как арочные конструкции из сварных двутавров с поперечно-гофрированной стенкой, положения по их конструированию и расчету планируется включить в последующие редакции данного свода правил.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование металлических конструкций / под ред. В. В. Бирюлева. М. : Стройиздат, 1990. 432 с.
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. *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.
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. *Остриков Г. М., Максимов Ю. С.* Стальные сейсмостойкие каркасы многоэтажных зданий. Алма-Ата : Казахстан, 1985. 117 с.
6. *Максимов Ю. С., Остриков Г. М., Долинский В. В.* Устойчивость гофрированных стенок двутавровых балок // Строительная механика и расчет сооружений. 1985. № 6. С. 43–45.
7. *Pasternak H., Kubieniec G.* Plate girders with corrugated webs [Балки с гофрированными стенками] // Journal of Civil Engineering and Management. 2010. № 16(2). Pp. 166–171.
8. *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. Т. 22. № 2. С. 104–111.
9. *Степаненко А. Н.* Стальные двутавровые стержни с волнистой стенкой. Хабаровск : Изд-во Хабаровского гос. техн. ун-та, 1999. 115 с.
10. *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.
11. *Грачев В. А., Мруц Е. С.* Поиск оптимальной ориентации гофр составной стенки двутавровой балки // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сб. статей. Самара : Самарский государственный технический университет, 2019. С. 50–55.
12. *Кудрявцев С. В.* Расчет двутавровой балки с гофрированной стенкой на изгиб в своей плоскости под действием статических нагрузок. Ч. 2: Расчет методом конечных элементов. Деп. в ВИНИТИ 20.07.2007. № 750-В2007. Екатеринбург : УПИ, 2007. 11 с.
13. *Pasternak H., Bartholomé S.* Girders with profiled and structured web – ongoing research. Part 1, 2 [Балки с гофрированными стенками – текущие исследования. Ч. 1. 2] Brandenburg University of Technology, Cottbus, Germany.
14. *Pasternak H., Robra J., Kubieniec G.* Plate girders with corrugated webs [Балки с гофрированной стенкой]. "Stability and Ductility of Structures" [«Устойчивость и пластичность конструкций»] Baltic Session of the International Colloquium, Vilnius (Litauen), 2009.
15. *Denan F., Osman M. H., Saad S.* The study of lateral torsional buckling behavior of beam with trapezoid web steel section by experimentally and finite element analysis [Исследование устойчивости при изгибе балки с трапециевидной стенкой из стального профиля с помощью экспериментального и конечно-элементного анализа] // Int. J. Res. Rev.Appl. 2010. Sci. 2(2). P. 232.
16. Лира-САПР. Верификационный отчет. М., 2015. Т. 1. 51 с.
17. *De'nan F., Shoong K. K., Hashim N. S., Ken C. W.* Nonliner analysis of triangular web profile steel section under bending behavior [Нелинейный расчет стальной гофрированной стенки балки треугольной гофрировкой при изгибе] // Lecture Notes in Civil Engineering. 2019. № 9. P. 463–472.
18. СНиП РК 5.04-23-2002 «Стальные конструкции. Нормы проектирования».

R E F E R E N C E S

1. *Proektirovanie metallicheskikh konstruktsiy* [Design of metal structures]. Pod red. V. V. Biryuleva. Moscow, Stroyizdat Publ., 1990. 432 p. (In Russian).
2. Dmitrieva T. L., Ulambayar Kh. The use of beams with corrugated walls in modern design. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*, 2015, no. 4(15), pp. 132–139. (In Russian).
3. Maksimov Yu. S., Ostrikov G. M. Steel beams with a thin corrugated wall – an effective type of load-bearing structures for industrial buildings. *Promyshlennoe stroitel'stvo*, 1984, no. 4, pp. 10–11. (In Russian).
4. Bryantsev A. A., Absimetov V. E., Lalin V. V. Efficiency of using I-beams with corrugated walls in industrial buildings. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*, 2017, no. 3(54), pp. 93–104. (In Russian).
5. Ostrikov G. M., Maksimov Yu. S. *Stal'nye seysmostoykie karkasy mnogoetazhnykh zdaniy* [Steel earthquake-resistant frames of multi-storey buildings]. Alma-Ata, Kazakhstan Publ., 1985. 117 p. (In Russian).
6. Maksimov Yu. S., Ostrikov G. M., Dolinskiy V. V. Stability of corrugated walls of I-beams. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 1985, no. 6, pp. 43–45. (In Russian).
7. Pasternak H., Kubieniec G. Rlate girders with corrugated webs. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2010, no. 16(2), pp. 166–171.
8. Tishkov N. L., Stepanenko A. N., Shipelev I. L., Ustimenko M. B. Improving the design of a steel I-beam with a thin cross-corrugated wall. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2020, vol. 22, no. 2, pp. 104–111. (In Russian).
9. Stepanenko A. N. *Stal'nye dvutavrovye sterzhni s volnistoy stenkoy* [Steel I-beam rods with a wavy wall]. Khabarovsk, Khabarovsky gos. tekhn. un-t Publ., 1999. 115 p. (In Russian).
10. Ostrikov G. M., Maksimov Yu. S., Dolinskiy V. V. Study of the load-bearing capacity of steel I-beams with a vertically corrugated wall. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 1983, no. 1, pp. 68–70. (In Russian).
11. Grachev V. A., Mruts E. S. Search for optimal orientation of the corrugation of the composite wall of an I-beam. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'stvo* [Traditions and innovations in construction and architecture. Construction]. Sb. statey. Samara, Samarskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet Publ., 2019, pp. 50–55. (In Russian).
12. Kudryavtsev S. V. *Raschet dvutavrovoy balki s go-*

frirovannoy stenkoy na izgib v svoey ploskosti pod deystviem staticheskikh nagruzok. Ch. 2: Raschet metodom konechnykh elementov [Calculation of an I-beam with a corrugated wall for bending in its plane under the influence of static loads. part 2: calculation by the finite element method]. Dep. v VINITI 20.07.2007, no. 750-V2007. Ekaterinburg, UPI Publ., 2007. 11 p. (In Russian).

13. Pasternak H., Bartholomé S. *Girders with profiled and structured web — ongoing research. Part 1, 2.* Brandenburg University of Technology, Cottbus, Germany.
14. Pasternak H., Robra J., Kubieniec G. Plate girders with corrugated webs. "*Stability and Ductility of Structures*" Baltic Session of the International Colloquium. Vilnius (Litauen), 2009.
15. Denan F., Osman M. H., Saad S. The study of lateral torsional buckling behavior of beam with trapezoid web steel section by experimentally and finite element analysis. *Int. J. Res. Rev.Appl.*, 2010, sci. 2(2), p. 232.
16. Lira-SAPR. *Verifikatsionnyy otchet* [Lira-CAD. Verification report]. Moscow, 2015, vol. 1, 51 p. (In Russian).
17. De'nan 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, p. 463–472.
18. SNiP RK 5.04-23-2002 "*Stal'nye konstruktsii. Normy proektirovaniya*" [Steel structure. Design standards]. (In Russian).

Для цитирования: *Силина Н. Г., Понурова Е. А., Красотина Л. В.* Элементы сварного двутаврового сечения с гофрированной стенкой — обновленный раздел свода правил «Конструкции стальные. Правила проектирования» // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 10. С. 48—54.
DOI: 10.33622/0869-7019.2020.10.48-54.

For citation: Silina N. G., Ponurova E. A., Krasotina L. V. Elements of a Welded I-Section with a Corrugated Wall — an Updated Section of the Set of Rules "Steel Structures. Design Rules". *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2020, no. 10, pp. 48—54. (In Russian).
DOI: 10.33622/0869-7019.2020.10.48-54.