



Н. Ю. МОЛЕВА

ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БАЛОК С ГОФРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ

FEATURES OF THE STRAIN-STRESS STATE OF BEAMS WITH
A CORRUGATED WALL OF VARIABLE RIGIDITY

Стальные балки с гофрированной стенкой представляют на сегодняшний день перспективную область исследований в сфере строительных конструкций. В статье изучается поведение металлической балки с гофрированной стенкой двутаврового профиля в условиях работы на изгиб. Рассмотрена балка пролетом 12 м. В ПК «ЛИРА-САПР» построена конечноэлементная модель рассчитываемой конструкции. Произведен анализ напряженно-деформированного состояния гофрированной балки переменной жесткости, которая имеет в центральной части стенки плоский фрагмент. Полученная таким образом балка обладает рядом преимуществ по сравнению с балками, имеющими только плоскую либо полностью гофрированную стенку. Представлены выводы по результатам анализа расчета.

Ключевые слова: двутавровая балка, гофрированная стенка, жесткость, напряженно-деформированное состояние, нормальное напряжение, касательное напряжение

В стальных двутавровых балках из-за необходимости обеспечения условия местной устойчивости требуется увеличение толщины стенки и наличие поперечных ребер жесткости. В целях повышения эффективности конструкции применяется балка с гофрированной стенкой, позволяющая выполнить оба этих требования и в то же время снизить металлоемкость.

Вопросы усовершенствования конструкции балок с гофрированной стенкой поднима-

Corrugated steel beams represent a promising area of research in the field of structural engineering today. The article studies the behavior of a metal beam with a corrugated wall of an I-profile under bending conditions. Beam considered span of 12 m. A finite element model of the calculated structure was built in the LIRA-SAPR software package. The analysis of the stress-strain state of a corrugated beam of variable stiffness, which has a flat fragment in the central part of the wall, is carried out. The beam thus obtained has a number of advantages over beams with only a flat or fully corrugated wall. The conclusions based on the results of the analysis of the calculation are presented.

Keywords: I-girder, corrugated web, stiffness, stress-strain state, normal stress, shear stress

лись в ряде работ, например [1–3]. В средней части пролета балки величина касательных напряжений минимальна, и поэтому использование в ней гофрирования не оправдано с точки зрения материалоемкости. Вариант размещения плоского отсека в центральной части стенки рассматривался в исследованиях [4–6]. Подтверждение эффективности использования в гофрированной стенке плоского центрального фрагмента на основе анализа напряжен-

но-деформированного состояния расчетной модели балки представлено в данной статье.

Сечение балки. Рассматриваемая балка имеет пролет 12 м, работает на изгиб от центрально приложенной равномерно-распределенной нагрузки (рис. 1). Принят синусоидальный профиль гофрирования стенки.

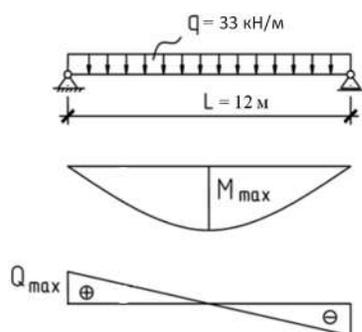


Рис. 1. Схема загрузки балки

Максимальные значения изгибающего момента и перерезывающей силы соответственно составляют:

$$M_{\max} = (q \cdot L^2) / 8 = (33 \cdot 12^2) / 8 = 594 \text{ (кН}\cdot\text{м)}. \quad (1)$$

$$Q_{\max} = (q \cdot L) / 8 = (33 \cdot 12) / 8 = 198 \text{ (кН)}. \quad (2)$$

Принятый профиль балки из сортамента Zemaп WTC 1250 – 300×20 (рис. 2):

– высота стенки $h_w = 125$ см;

– ширина пояса $b_f = 30$ см;

– толщина пояса $t_f = 2$ см.

Тогда площадь сечения пояса будет равна:

$$A_f = b_f \cdot t_f = 30 \cdot 2 = 60 \text{ (см}^2\text{)}. \quad (3)$$

Высота балки $H = 129$ (см).

Общая устойчивость балки: по результатам расчета численной модели балки в ПК «ЛИРА-СА-ПР» (рис. 3) коэффициент запаса по первой форме потери устойчивости составляет 1,23859.

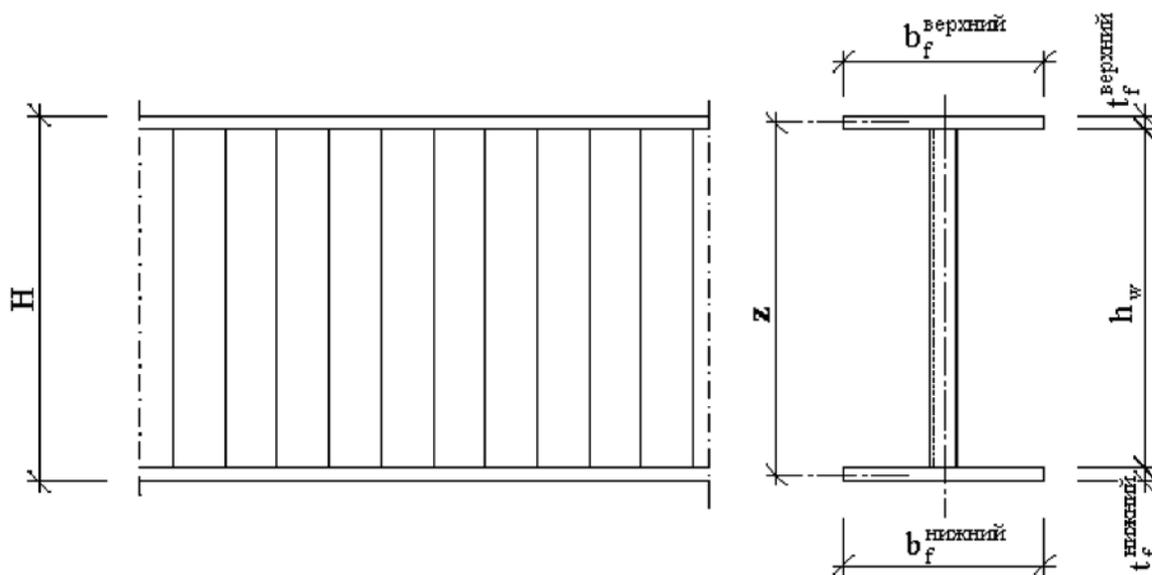


Рис. 2. Параметры балки

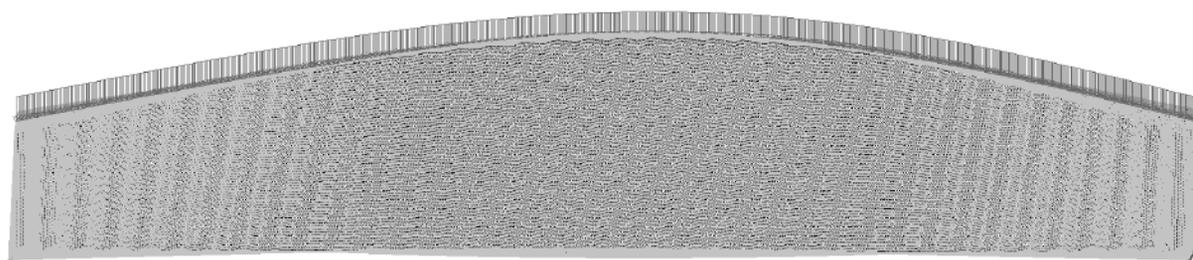


Рис. 3. Первая форма потери устойчивости балки в ПК «ЛИРА-САПР»

Моделирование балки в ПК «ЛИРА-СА-ПР». В расчетном комплексе «ЛИРА-САПР» было выполнено построение конечноэлементной модели рассчитываемой балки (рис. 4).

Максимальный прогиб балки составил 11,7 мм (рис. 5).

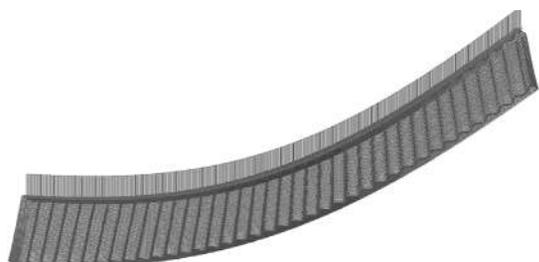


Рис. 4. Модель балки в ПК «ЛИРА-САПР»

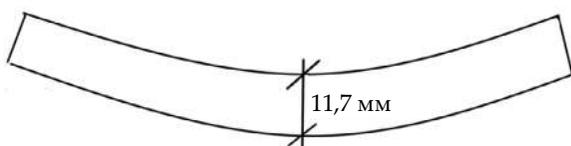


Рис. 5. Максимальный прогиб балки с гофрированной стенкой

Балка переменной жесткости. В связи с тем, что в центральной части пролета касательные напряжения стремятся к нулю, целесообразно заменить этот участок стенки плоским фрагментом (рис. 6). Длину плоского участка определим по СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» как расстояние между поперечными ребрами жесткости $a \leq 2h_{ef} = 2500$ мм при $\bar{\lambda}_w \geq 3,2$. Величина условной гибкости $\bar{\lambda}_w$ опре-

делялась для плоского фрагмента стенки. Примем длину плоского участка равной 2400 мм. Рассмотрим характерные особенности напряженно-деформированного состояния балки со стенкой переменной жесткости.

Анализ напряженно-деформированного состояния балки переменной жесткости:

а) **Нормальные напряжения N_x** действуют в поясах и плоском центральном фрагменте стенки. В гофрированной части они незначительны и развиваются лишь в месте примыкания к поясам (рис. 7, 8). Максимальная величина N_x (77,622 МПа) достигается в растянутом нижнем поясе в месте примыкания гофрированной части стенки к плоской. В балке с полностью гофрированной стенкой максимум нормальных напряжений N_x находится в середине пролета.

б) **Касательные напряжения τ_{xy}** действуют в стенке балки и максимальны в ее приопорной зоне (рис. 7, 9).

в) **Максимальный прогиб** конструкции составляет 11 мм, что меньше значения, полученного для полностью гофрированной балки (см. рис. 5).

Проверка устойчивости балки проведена в ПК «ЛИРА-САПР», коэффициент запаса составил 1,23506 по первой форме потери устойчивости. Данный результат незначительно отличается от величины, полученной при проверке устойчивости полностью гофрированной балки, следовательно, конструкция переменной жесткости не уступает классической в изгибной жесткости из плоскости.

Равномерно-распределенная нагрузка может быть приложена с эксцентриситетом, что

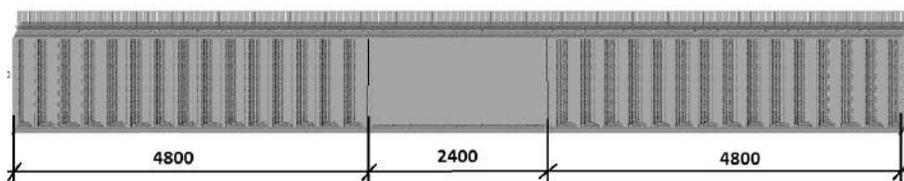


Рис. 6. Схема балки переменной жесткости

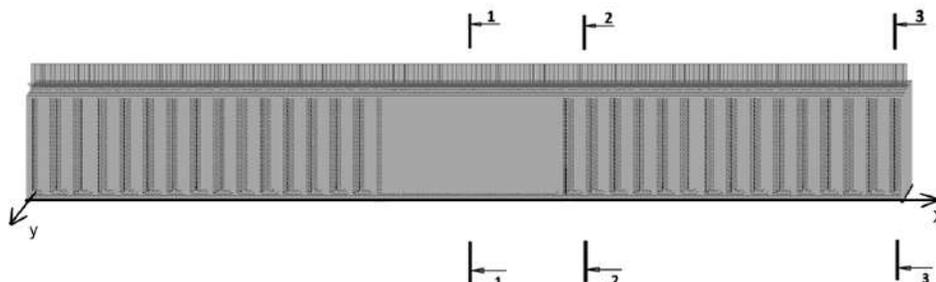


Рис. 7. Схема расположения сечений балки

влечет за собой изменение напряженно-деформированного состояния конструкции. Рассмотрим вариант загрузки балки той же нагрузкой, но имеющей эксцентриситет $e = 3$ см (рис. 7, 10).

Величина возникающих напряжений больше у верхнего пояса, при этом их максимальная величина достигается в месте примыкания гофрированной части стенки к плоской. Коэффициент запаса по первой форме потери устойчивости в этом случае составил 1, 24032.

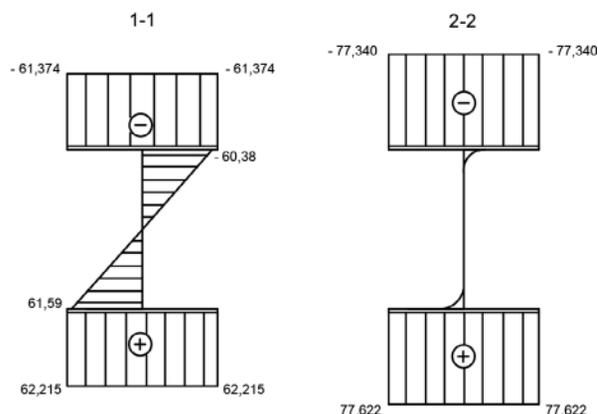


Рис. 8. Эпюры нормальных напряжений N_x (в МПа)

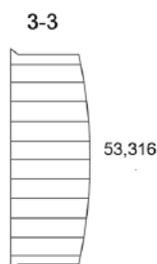


Рис. 9. Эпюра касательных напряжений τ_{xy} (в МПа) в приопорной зоне стенки

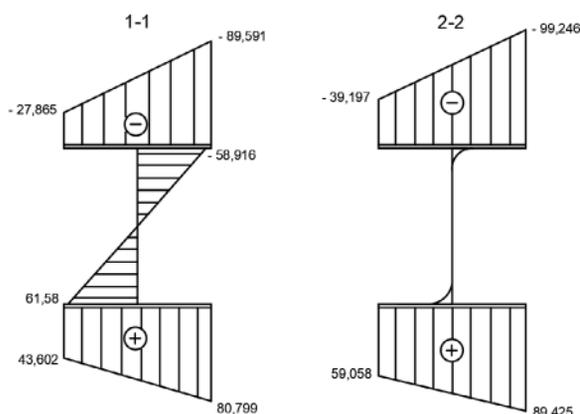


Рис. 10. Эпюры нормальных напряжений N_x (в МПа)

Вывод. Комбинирование различных типов жесткости в балке двутаврового профиля является целесообразным. Такое конструктивное решение позволяет рационализировать использование гофрированной части стенки только в тех зонах, где это требуется, т. е. где велики касательные напряжения. Устойчивость центральной плоской части стенки можно повысить, установив поперечные ребра жесткости. По результатам расчета балка переменной жесткости отвечает требованиям устойчивости и позволяет уменьшить прогиб балки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукин А. О., Алпатов В. Ю., Чернышев Д. Д. Совершенствование конструктивного решения балки с гофрированной стенкой // Градостроительство и архитектура. 2016. № 2(23). С. 4–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.1.
2. Холопов И.С., Лукин А.О., Козырев П.Н. Совершенствование конструкции балки с гофрированной стенкой // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, В.П. Попова; СГАСУ. Самара, 2015. С. 68–71.
3. Лукин А.О., Алпатов В.Ю., Литиков А.П. Усовершенствование конструкции балки с гофрированной стенкой путем создания облегченной конструкции переменной жесткости // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2016. № 9. С. 52–55.
4. Рыбкин И.С. Совершенствование конструктивных решений, методов моделирования и расчета гофрированных элементов: дис. ... кандидата технических наук: 05.23.01. М., 2008. 148 с.
5. Пат. 91583 Российская Федерация, МПК Е 04 С 3/07. Балка с переменнo-гофрированной стенкой/Рыбкин И. С.; Патентообладатель: Рыбкин И. С. – № 2009101679/22; заявл. 21.01.2009, опубл. 20.02.2010.
6. Полторацнев А.С. Несущая способность и оптимизация стальных тонкостенных балок: дис. ... кандидата технических наук: 05.23.01. М., 2013. 216 с.

REFERENCES

1. Lukin A. O., Alpatov V. YU. Chernyshev D. D. Improvement of the structural solution of the beam with a corrugated web. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], Samara, 2016, no. 2(23), pp. 4-9. (in Russian)
2. Holopov, I. S., Lukin A. O., Kozыrev P. N. Design improvement of the beam with a corrugated web. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'stvo: materialy 72-j Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii* [Traditions and innovations in construction and architecture: materials of the 72st All-Russian Scientific and Technical Conference], Samara, 2015, pp. 68-71. (in Russian)

3. Lukin A. O., Alpatov V. YU., Litikov A. P. Improving the design of a corrugated web beam by creating a lightweight structure of variable stiffness. *Stroitel'stvo: novye tekhnologii - novoe oborudovanie* [Construction: new technology – new equipment], Samara, 2016, no. 9, pp. 52-55. (in Russian)

4. Rybkin I. S. *Sovershenstvovanie konstrukcionnyh reshenij, metodov modelirovaniya i rascheta gofrirovannyh elementov. Kand. Diss.* [Improvement of design solutions, methods of modeling and calculation of corrugated elements. Cand. Diss.]. Moscow, 2008. 148 p.

5. Rybkin I. S. *Balka s peremennno-gofrirovannoj stenкой* [Beam with variable corrugated web]. Patent RF, no. 91583, 2010.

6. Poltoradnev A. S. *Nesushchaya sposobnost' i optimizatsiya stal'nyh tonkostennyh balok. Kand. Diss.* [Load-bearing capacity and optimization of steel thin-walled beams. Candidate's Dissertation. Cand. Diss.]. Moscow, 2013, 216 p.

Об авторе:

МОЛЕВА Наталия Юрьевна

аспирант кафедры металлических и деревянных конструкций
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: moleva.nat@yandex.ru

MOLEVA Natalia Yu.

Postgraduate student of the Steel and Wooden Structures Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: moleva.nat@yandex.ru

Для цитирования: Молева Н.Ю. Особенности напряженно-деформированного состояния балок с гофрированной стенкой переменной жесткости // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 4–8. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.01.

For citation: Moleva N.Yu. Features of the Strain-Stress State of Beams with a Corrugated Wall of Variable Rigidity. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 4–8. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.01.

**ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР
«КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭНЕРГОАУДИТ»**

