

Н.Л. ТИШКОВ<sup>1</sup>, А.Н. СТЕПАНЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский 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 опорных 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. TISHKOV<sup>1</sup>, A.N. STEPANENKO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pacific 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.

© Тишков Н.Л., Степаненко А.Н., 2023

### 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. 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. 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., Suhail 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 gofirovannoy stenкой v sovremennom proyektirovaniy [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 stержney 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 gofriro-vannymi 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 gofrirovannoy stenкой s razlichnymi profilyami gofrirovaniya [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 tonkoy 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 dvutavrovnykh balok s razlichnymi tipami gofrirovannykh stenok [Numerical parametric study of the stress-strain state of I-beams with various types of corrugated walls] // Vest-nik 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 konstruksii balki s gofiro-vannoy 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 konstruksii stal'noy dvutavrovoy balki s tonkoy poperechno-gofrirovannoy 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 usilyakh v poyasakh stal'nykh balok s ton-kimi poperechno-gofrirovannymi 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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:000419@pnu.edu.ru)