

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.016
DOI 10.52684/2312-3702-2022-39-1-5-9

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ МЕТАЛЛОДЕРЕВЯННОЙ БАЛКИ ДВУТАВРОВОГО СЕЧЕНИЯ

Н. Л. Тишков, П. И. Егоров, Я. Ю. Захарова, В. С. Попова

Тишков Николай Леонидович, кандидат технических наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой «Промышленное и гражданское строительство», Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Российская Федерация, e-mail: n.Tishkov87@gmail.com;

Егоров Павел Иванович, кандидат технических наук, директор Инженерно-строительного института, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Российская Федерация;

Захарова Ярослава Юрьевна, магистр, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Российская Федерация;

Попова Валерия Сергеевна, специалист, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Российская Федерация

В настоящее время малоэтажное каркасное домостроение активно развивается, а комбинированные конструкции позволяют обеспечить снижение материалоемкости строительных конструкций. Повысить эффективность конструкции можно за счет сочетания преимуществ материалов металлодеревянных балок. Целью данной работы является обоснование применения комбинированной стенки, изготовленной из стальных поперечно-гофрированных и плоских листов, металлодеревянной двутавровой балки, а также совершенствование возможных конструктивных решений для повышения резерва несущей способности. В статье представлены конечно-элементные модели балок с различными конструктивными решениями стенки, предложенными авторами, а также результаты и анализ численных экспериментов, которые были проведены при помощи ПК «ЛИРА-САПР». В рамках исследования для каждой созданной модели были получены формы потери устойчивости стенок с коэффициентами запаса, перемещения, деформированные схемы балок, изополя распределения нормальных и касательных напряжений.

Ключевые слова: гофрированная стенка, гофр, металлодеревянная балка, метод конечных элементов.

IMPROVEMENT OF THE DESIGN OF A METAL-WOODEN BEAM OF A I-SECTION

N. L. Tishkov, P. I. Egorov, Y. Y. Zakharova, V. S. Popova

Tishkov Nikolay Leonidovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Industrial and Civil Engineering, Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation, e-mail: n.Tishkov87@gmail.com;

Yegorov Pavel Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Director of the Civil Engineering Institute, Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation;

Zakharova Yaroslava Yuryevna, Master, Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation;

Popova Valeriya Sergeevna, Specialist, Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation

Currently, low-rise frame housing construction is actively developing, and combined structures make it possible to reduce the material consumption of building structures. It is possible to increase the efficiency of the design by combining the advantages of the materials of metal-wood beams. The purpose of this work is to justify the use of a combined wall made of steel transversely corrugated and flat sheets, a metal-wooden I-beam, as well as to improve possible design solutions to increase the bearing capacity reserve. The article presents finite element models of beams with various design solutions of the wall proposed by the authors, as well as the results and analysis of numerical experiments that were carried out using the LIRA-SAPR software package. Within the framework of the study, for each created model, the forms of wall buckling with safety factors, displacements, deformed schemes of beams, as well as isofields of distribution of normal and shear stresses were obtained.

Keywords: corrugated wall, corrugation, metal-wood beam, finite element method.

Введение

Малоэтажное каркасное домостроение развивается быстрыми темпами, порождая спрос на более выгодные материалы и конструкции с экономической, а также технической точки

зрения. Применение комбинированных балок в качестве элементов перекрытия в каркасах позволяет обеспечить снижение материалоемкости строительных конструкций. Такое со-

четание материалов как древесина и сталь, которые в отдельности являются одними из наиболее практичных в строительстве, при оптимальном комбинировании свойств способствует высокой эффективности. Конструкция металлодеревянной балки с гофрированной стальной стенкой предполагает оптимальное распределение материала в соответствии с напряженно-деформированным состоянием элементов. Все это позволяет обеспечить снижение веса конструкции, а также повысить устойчивость стенки балки за счет применения гофрированного стального листа. Концепцией металлодеревянной двутавровой балки является сочетание преимуществ двух материалов, благодаря которым сводятся на нет их недостатки.

Тема металлодеревянных балок до сих пор остается малоизученной [1–8]. Именно поэтому мы предлагаем развивать данное направление исследований, совершенствовать конструктивные решения и проводить анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций при различных условиях эксплуатации.

На основании результатов уже имеющихся работ по этой теме было определено, что наиболее оптимальным конструктивным решением является металлодеревянная балка с поперечно-гофрированной стенкой, гофры которой ориентированы вертикально [9–14].

Для того, чтобы поспособствовать широкому внедрению конструкции и сократить расходы на производство, рекомендуется в качестве поперечно-гофрированной стенки применять стальные профилированные листы заводской готовности по ГОСТ 24045–2016 [15]. В таком случае наиболее оптимальным вариантом будет являться профилированный лист С21-1000-0,6. Использование данного листа позволяет повысить устойчивость стенки и резерв несущей способности балки. Тем не менее применение гофрированного листа по всей длине балки является нецелесообразным по причине того, что поперечно-гофрированная стенка на большей части своей высоты ведет себя подобно «меху» гармошки и почти не воспринимает усилий в направлении поперек гофров, в то время как сечением поперечно-гофрированной стенки воспринимается вся поперечная сила. Вследствие этого возникает вопрос о возможном комбинировании гофрированных и плоских участков стенки.

Постановка задачи

Цель исследования – совершенствование конструктивных решений для повышения резерва несущей способности металлодеревянной балки двутаврового сечения со стенкой из стальных профилированных листов заводской готовности С21-1000-0,6 по ГОСТ 24045-2016 и плоских листов.

Конструктивные решения, предлагаемые авторами:

- вариант 1. Металлодеревянная балка с поперечно-гофрированной стенкой заводской готовности из профилированного листа С21-1000-0,6 по ГОСТ 24045-2016 (рис. 1а);

- вариант 2. Металлодеревянная балка с комбинированной стенкой. Гофрированные части стенки, расположенные на приопорных участках балки длиной 1 м, выполнены из профилированных листов С21-1000-0,6. Участок со сплошным плоским листом длиной 2 м – в середине пролета балки (рис. 1б);

- вариант 3. Металлодеревянная балка с комбинированной стенкой. Гофрированные части стенки, расположенные на приопорных участках балки длиной 1 м, выполнены из спаренных профилированных листов С21-1000-0,6. Участок со сплошным плоским листом длиной 2 м – в середине пролета балки (рис. 1в);

- вариант 4. Металлодеревянная балка с комбинированной стенкой. Гофрированные части стенки, расположенные на приопорных участках балки длиной 1 м, выполнены из спаренных профилированных листов С21-1000-0,6. В каждое второе отверстие, образованное спаренными профилированными листами, установлены деревянные бруски. Участок со сплошным плоским листом длиной 2 м расположен в середине пролета балки (рис. 1г).

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- 1) созданы модели металлодеревянных балок в программном комплексе «ЛИРА-САПР»;

- 2) произведен расчет и оценка напряженно-деформированного состояния металлодеревянных балок 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.

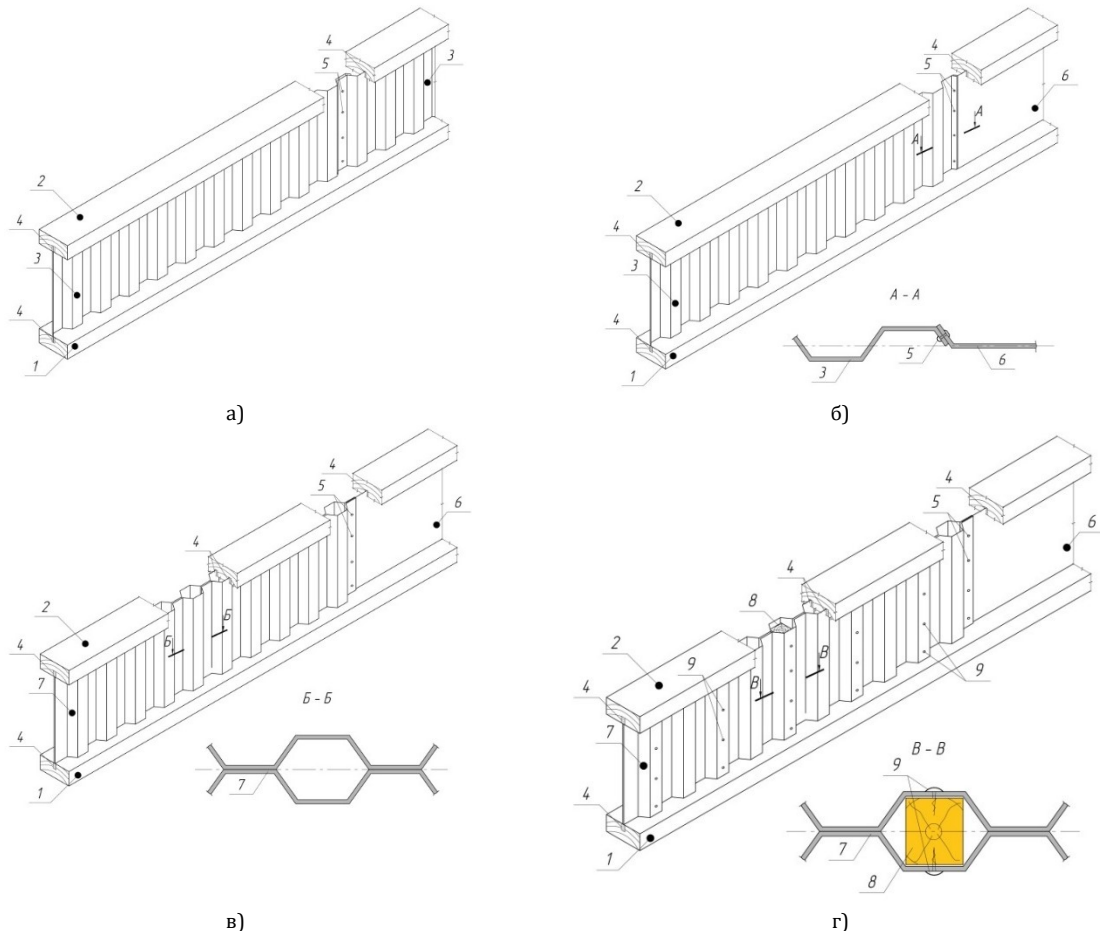


Рис. 1. Конструктивные решения металлодеревянной балки двутаврового сечения:

- 1 – нижний пояс из древесины; 2 – верхний пояс из древесины; 3 – стенка из стеновых профилированных листов С21-1000-0,6;
 4 – криволинейные пазы для крепления стеновых профилированных листов к поясам; 5 – заклепки;
 6 – стенка из плоского металлического листа; 7 – стенка из спаренных стеновых профилированных листов;
 8 – деревянный брусок; 9 – самонарезающие винты

Методы исследования и результаты

В исследовании был использован программный комплекс «ЛИРА-САПР». Для оценки напряженно-деформированного состояния и форм потери устойчивости с коэффициентами запаса были созданы четыре конечно-элементные модели металлодеревянных балок с разным конструктивным решением стенки.

В основе каждого варианта балки лежит ранее разработанная базовая модель [15]. Общими геометрическими характеристиками балок по данной модели являются: пролет – 4 м, высота стенки – 300 мм, толщина гофрированной стенки – 0,6 мм, плоской стенки – 2 мм, сечение деревянных поясов 50(h) × 100 мм.

Расчетная схема представляет собой однопролетную шарнирно-опертую балку, нагруженную равномерно распределенной нагрузкой величиной 8 кН/м.

Результаты расчета моделей балок при равномерно распределенной нагрузке приведены в таблице 1.

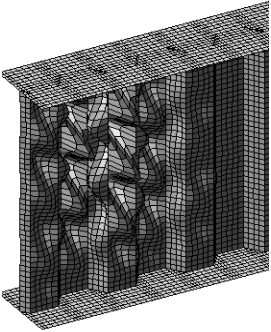
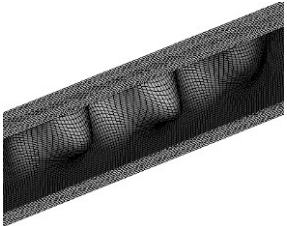
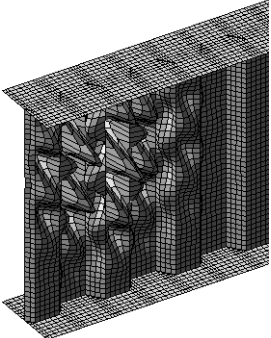
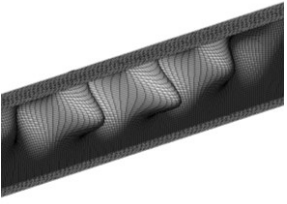
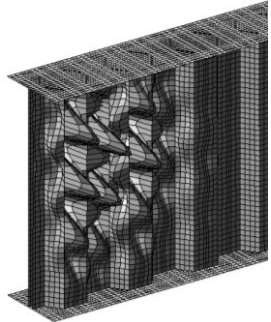
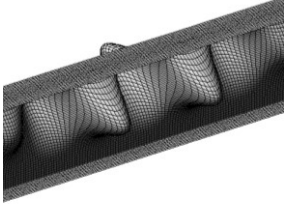
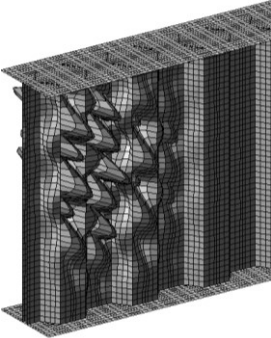
На рисунке 3 представлена гистограмма максимальных нормальных напряжений в верхних

и нижних поясах поперечного сечения балок в середине пролета.

Полученные данные свидетельствуют о том, что:

- плоская стенка в середине пролета повышает несущую способность балки за счет включения ее в работу на восприятия продольных усилий, так уровень нормальных напряжений в поясах упал на 25 %, при это снизилась деформативность конструкции на 22 %;
- гофрированные участки обеспечивают устойчивость стенки на приопорных участках с коэффициентом потери устойчивости 3,72, что свидетельствует о существенном резерве устойчивости стенки;
- спаренные гофрированные листы в качестве участков стенки металлодеревянной балки позволяют повысить коэффициент потери устойчивости на приопорных участках в два раза в сравнении с одинарным гофрированным листом;
- добавление деревянного бруска в отверстия, образованные спаренными профилированными листами, не дает значительного эффекта.

Таблица 1

Вариант	Форма потери устойчивости в середине пролета	Коэфф. потери устойчивости	Форма потери устойчивости на приопорном участке	Коэфф. потери устойчивости	Прогиб в середине пролета, мм	Вид потери устойчивости стенки
11	-	-		3,7258	13,1	Потеря «местной» устойчивости стенки
22		2,07021		3,72575	10,2	Потеря «местной» устойчивости стенки
3		2,06994		7,43822	9,6	Потеря «местной» устойчивости стенки
4		2,07333		7,50663	9,57	Потеря «местной» устойчивости стенки

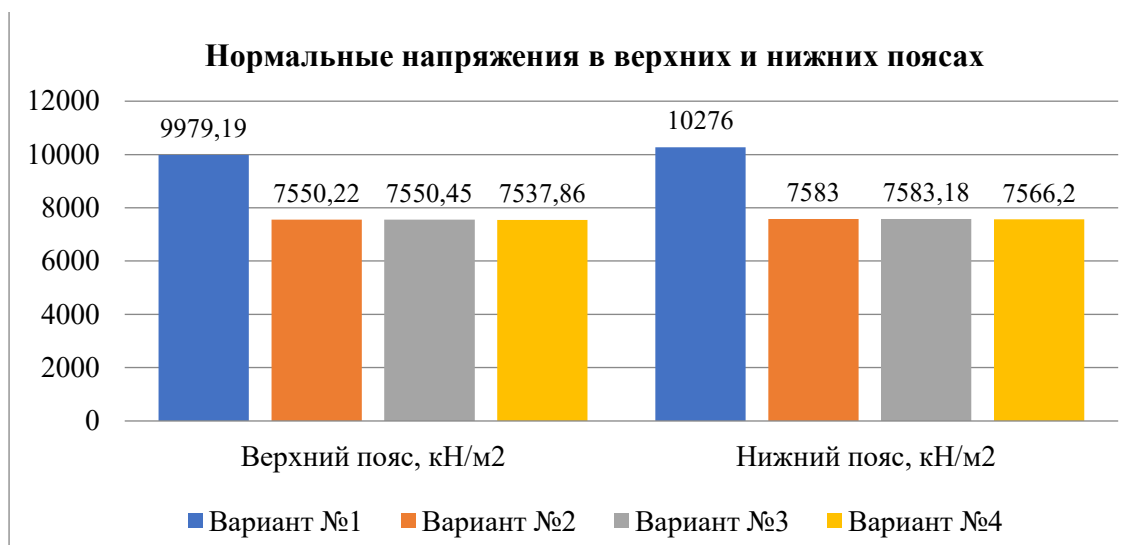


Рис. 3. Гистограмма максимальных нормальных напряжений в верхних и нижних поясах поперечных сечений балок в середине пролета

Выводы

В ходе проведенного численного эксперимента установлено, что наиболее оптимальным вариантом стенки металлодеревянной балки является комбинированная конструкция, состоящая из профилированных листов заводской готовности С21-1000-0.6 по ГОСТ 24045-2016 и

плоских листов, использование которой позволит повысить резерв несущей способности. Применение спаренных гофрированных листов на приопорных участках дает возможность развивать сечение балок по высоте, что в свою очередь повысит их несущую способность.

Список литературы

- Егоров П. И. Дополнительные изгибно-крутящие усилия в двутавровом стержне с поперечным непрерывным трапециевидальным профилем гофров в стенке / П. И. Егоров // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 10. – С. 34–35.
- Степаненко А. Н. Стальные двутавровые балки с тонкой волнистой стенкой / А. Н. Степаненко, П. И. Егоров. – Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т, 2015. – 155 с.
- Степаненко А. Н. Об участии в работе тонкой гофрированной стенки стального двутавра на продольные усилия / А. Н. Степаненко, Н. Л. Тишков // Вестник ВСГУТУ. – 2016. – № 4. – С. 41–45.
- Chan C. L. Finite element analysis of corrugated web beams under bending / C. L. Chan, Y. A. Khalid, B. B. Sahari, A. M. S. Hamouda // J. of Constructional Steel Webs. – 2020. – № 58 (11). – P. 1391–1406. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(01\)00075-X](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(01)00075-X).
- Abbas H. H. Simplified analysis of flange transverse bending of corrugated web I-girders under in-plane moment and shear / H. H. Abbas, R. Sauc, R. G. Driver // Engineering Structures. – 2007. – № 29 (11). – P. 2816–2824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.01.006>.
- Yan-Lin G. In-plane strength of steel arches with a sinusoidal corrugated web under a full-span uniform vertical load: Experimental and numerical Investigations / G. Yan-Lin, C. Hang, P. Yong-Lin, A. B. Mark // Engineering Structures. – 2016. – № 110 (1). – P. 105–115. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.11.056>.
- Aschinger, R. Zu besonderheiten bei Trapezstegträgern / R. Aschinger, J. Lindner // Stahlbau. – 1997. – № 66 (3). – P. 136–142.
- Tishkov N. L. Features for calculating beams with a thin transverse corrugated web plate considering bending-twisting forces / N. L. Tishkov, A. N. Stepanenko // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 263. – P. 03006, DOI: 10.1051/e3sconf/202126303006/.
- Грачев В. А. Экспериментальное исследование металлодеревянной балки двутаврового сечения с поперечно гофрированной стенкой / В. А. Грачев // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. – 2019. – № 1. – С. 41–49.
- Иванова К. О. Сравнительный анализ и численное моделирование гибридных балок с деревянными поясами и волнистой стальной стенкой / К. О. Иванова, В. А. Грачев // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. – 2018. – № 1. – С. 23–29.
- Лютов Л. В. Применение составных комбинированных балок в конструкциях малоэтажных деревянных домов / Л. В. Лютов // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture: Polish Academy of Science. – 2013. – Т. 15, № 15. – С. 151–156.
- Пат. 151745 Российская Федерация, МПК Е 04 С 3/12. Балка составная комбинированная двутавровая / В. П. Синцов, Л. В. Лютов; заявитель и патентообладатель Крым. федер. ун-т им. В. И. Вернадского. – № 2014154636/93; заявл. 25.12.2014; опубл. 10.04.2015. – Бюл. № 10.
- Тишков Н. Л. Перспективы применения металлодеревянных балок двутаврового сечения с гофрированной стенкой / Н. Л. Тишков, Д. И. Биша, Н. Е. Медведев // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплекса: материалы национальной научно-практической конференции. – Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т, 2019. – Вып. 19. – С. 21–24.
- Волик А. Р. Конструктивные решения и механика разрушения деревянных балок комбинированной конструкции / А. Р. Волик, А. С. Жидок // Моделирование и механика конструкций. – 2016. – № 4. – С. 10.
- Тишков Н. Л. Обоснование оптимального профиля поперечно-гофрированной стенки металлодеревянной двутавровой балки / Н. Л. Тишков, А. Н. Степаненко, Я. Ю. Захарова // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2021. – № 2 (47). – С. 75–81.

© Н. Л. Тишков, П. И. Егоров, Я. Ю. Захарова, В. С. Попова

Ссылка для цитирования:

Тишков Н. Л., Егоров П. И., Захарова Я. Ю., Попова В. С. Совершенствование конструкции металлодеревянной балки двутаврового сечения // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 1 (39). С. 5–9.