



УДК 626.86

DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-1-7-13

КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ СТАЛЬНОЙ БАЛКИ ИЗ ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

А.В. Фроловская¹, С.Л. Шамбина², Ю.М. Петрова¹

¹ Сибирский федеральный университет
Свободный пр., 79, Красноярск, Россия, 660041

² Инженерная академия
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье рассматривается разработанный оптимальный вариант конструктивного решения стальной балки покрытия составного поперечного сечения из тонкостенных гнутых профилей. Проведены численные исследования различных вариантов балок с учетом редуцирования сечения. Выполнены испытания разработанного оптимального варианта в натуральную величину.

Ключевые слова: легкие стальные тонкостенные конструкции, холодногнутые профили, стальная балка покрытия, конструктивные решения

Развивающаяся экономика России и связанная с ней высокая конкуренция на строительном рынке требуют эффективных конструктивных решений строительных конструкций, современных технологичных систем с наименьшей ресурсоемкостью. Один из путей решения указанной проблемы — разработка и использование плоских и пространственных элементов из холодногнутой стальной оцинкованной профилей толщиной от 0,7 до 2 мм.

Зарубежный и отечественный опыт применения конструкций на их основе выявил ряд преимуществ перед традиционными из прокатных профилей: низкий расход металла, высокая коррозионная стойкость, возможность изготовления на строительной площадке, что в итоге позволяет снизить стоимость конструкций «в деле». В монографии [1] достаточно подробно описана область применения, классификация конструкций из тонкостенных оцинкованных профилей и приведены их отличительные особенности.

Проектирование тонкостенных конструкций осуществляется двумя альтернативными вариантами: численным (путь расчета) и экспериментальным (на основании испытаний) [2]. Особенность расчета несущей способности элементов, связанная с их тонкостенностью, заключается в учете возможной местной потери устойчивости всех элементов тонкостенного профиля (редуцированные характеристики сечений взамен геометрических). Аналогичная методика расчета представлена в документах [3; 4].

В данной работе реализован комплексный подход, включающий конструктивные проработки различных вариантов на основе численных исследований и испытания в лабораторных условиях.

Разработка стальной балки покрытия из тонкостенных гнутых тонкостенных профилей выполнена по заказу производителей. Конструктивное решение балки составного сечения: верхний и нижний пояса — U-образного вида; стенка — гнутый лист с формой гофры в виде трапеции. В качестве исходных данных приняты: район строительства — г. Красноярск; ограждающие конструкции — сэндвич-панели. Расчетная схема — однопролетная шарнирно-опертая балка, нагруженная равномерно распределенной нагрузкой. Предварительно пролет балок назначался равным 6, 9 и 12 м с возможными вариантами ее шагов 3, 4, 5 и 6 м.

Для поиска оптимального варианта конструктивного решения балки были заданы различные параметры поперечного сечения. Верхний и нижний пояса балки представлены в виде U-образного гнутого профиля толщиной 1,5 и 2 мм, высотой 180 мм и отгибом полки — 66 мм с учетом возможности соединения на самонарезающих винтах со стенкой и раскроя листа с минимальными отходами. Стенка толщиной 1,5 мм выполнена в виде трапециевидных гофров со следующими размерами гофра: высота 176 мм, ширина 50 мм, длина наклонной стороны 220, 250 и 280 мм.

По результатам численных исследований определены геометрические параметры сечения балки. Установлено, что несущая способность поясов обеспечивается при толщине 2 мм. Высота стенки балки определена из условия ее жесткости: при пролете 6 м — 250 мм, при пролете 9 м — 420 мм и при пролете 12 м — 625 мм. Параметры гофров были приняты из условия их местной устойчивости и конструктивных требований к ним, которые удовлетворяются при длине наклонной стороны 220 и 250 мм (наиболее рациональный раскрой листа). Балка пролетом 12 м не удовлетворяет расчету по гибкости стенки. Крепление деталей между собой осуществляется с помощью самонарезающих винтов SD3-T15-4,8x19 с учетом требований к их расстановке.

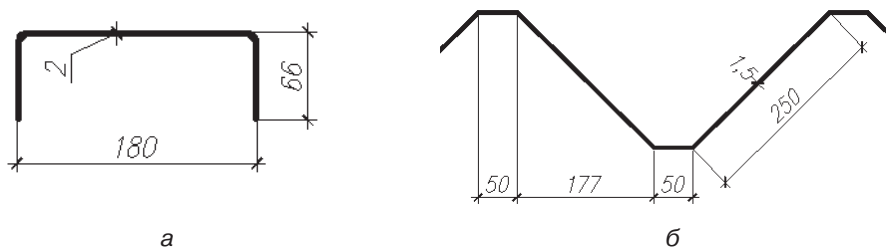


Рис. 1. Поперечные сечения элементов балки покрытия:
 а) полки; б) стенки
 [Cross-sections of the beam elements of covering:
 а) for the shelf; б) for the wall]

На рисунке 1 приведены поперечные сечения элементов оптимального конструктивного решения балки покрытия в результате численных исследований.

В результате детального расчета получено, что проверка прочности с учетом эффективности сечений выполняется только для балки пролетом 6 м с шагом 3 м.

При необходимости увеличения пролета балки до 9 м можно уменьшить шаг балок до 1,2–1,5 м.

Для определения эффективности конструктивного решения по критериям несущей способности и технологичности проведено испытание балки пролетом 6 м (рис. 2).

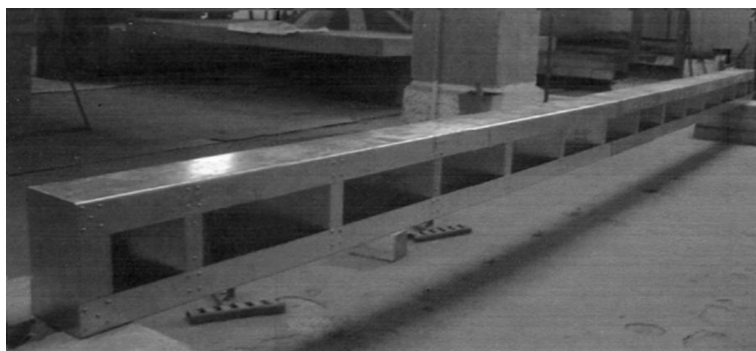
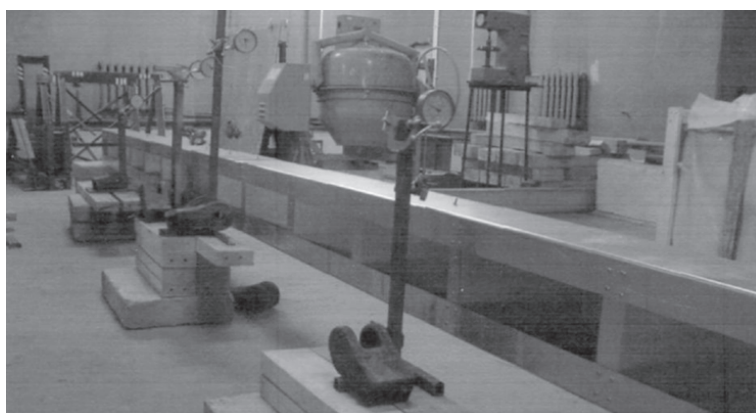
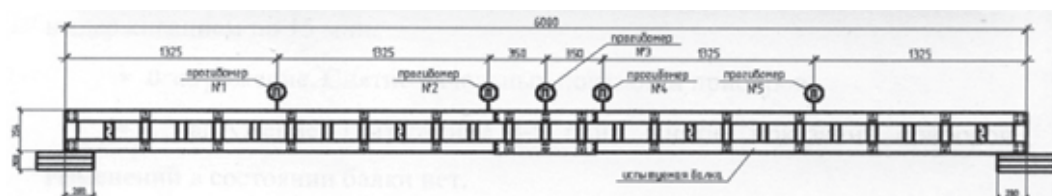


Рис. 2. Общий вид экспериментальной балки
[General view of the the experimental beam]



а



б

Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки (а) и ее схема (б)
[General view of the experimental model (a) and its scheme (b)]

Цель эксперимента — изучение работы тонкостенной балки из гнутых оцинкованных профилей. Для этого были поставлены следующие задачи: оценка жесткости балки и потери местной устойчивости ее элементов; анализ совместной

работы U-образный поясов со стенкой, выполненной в виде гофр трапецевидной формы, сопоставление численных и экспериментальных исследований. Общий вид и принципиальная схема экспериментальной установки показаны на рис. 3, а. Загружение модели проводилось в виде распределенной нагрузки. Для определения прогиба балки по ее длине установлены 5 прогибомеров (рис. 3, б).

Нагружение балки выполнялось в несколько этапов. На первом этапе произведена обкатка конструкции с целью устранения люфтов. Далее нагрузка подавалась ступенями по 230 кг (вначале с концов балки одновременно с двух сторон, затем на среднюю часть) с выдерживанием по 15 мин. после каждого приращения нагрузки до наступления предельного состояния.

График зависимости «прогиб-нагрузка» экспериментальной балки представлены на рис. 4. Сопоставление экспериментальных данных с результатами теоретических расчетов приведены в таблице.

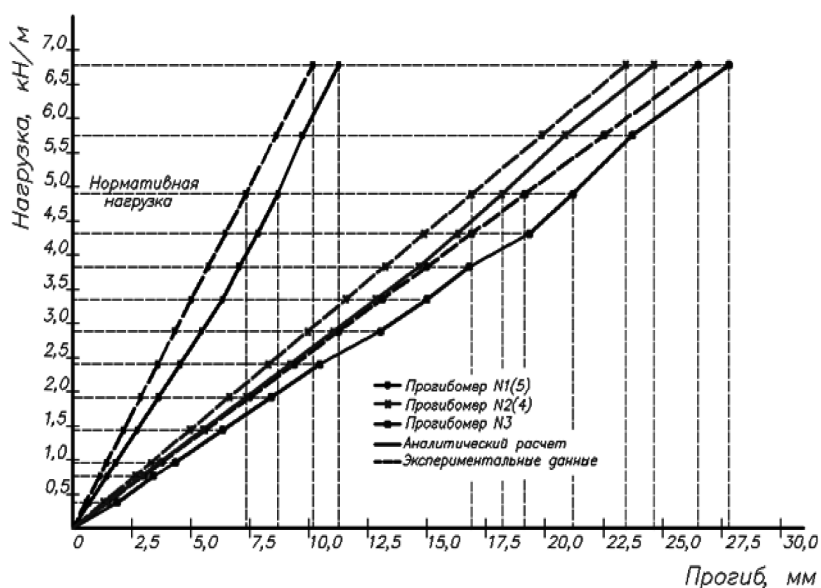


Рис. 4. График зависимости «прогиб-нагрузка» экспериментальной балки [Graph of “load and deflection” for the experimental beam]

Таблица

Сравнение экспериментальных и расчетных данных по прогибам балки [comparison of experimental and calculated data on beam deflections]

Расстояние от опоры до точки измерения прогиба	Значения прогибов, мм		
	по аналитическому расчету	по экспериментальным данным	расхождение, %
Прогиб при нормативной нагрузке 4,89 кН/м			
1,325 м	7,34	8,2	10,5
2,65 м	16,9	18,2	7,14
3,0 м	19,1	21,2	9,9
Прогиб при максимальной нагрузке 6,78 кН/м			
1,325 м	10,2	11,3	9,73
2,65 м	23,4	24,6	4,88
3,0 м	26,5	27,8	4,68

Выводы. Разработано конструктивное решение стальной балки покрытия из гнутых тонкостенных профилей. На основе численных исследований с учетом редуцирования поперечного сечения подобран оптимальный вариант, который был принят для проведения натуральных испытаний в лабораторных условиях.

В результате численных исследований рассмотренных выше конструктивных решений стальных балок пролетом 6 м с шагом 3 м установлено, что они работоспособны, обладают достаточной прочностью и жесткостью и могут выполнять функции несущих конструкций покрытия.

Прогиб балки, вычисленный аналитическим путем при нормативной нагрузке 4,89 кН/м, составил 19,1 мм, а по результатам испытаний — 21,2 мм. Расхождение составляет 9,9%.

При сопоставлении численных и экспериментальных значений прогиба балки расхождения составляют 4,68—10,5%.

Разрушение (предельное состояние) балки наступило в результате потери местной устойчивости верхней полки в середине ее пролета, что говорит о необходимости учета особенности работы тонкостенных конструкций, с учетом редуцирования сечения.

Экспериментальные исследования доказали, что совместная работа U-образных поясов со стенкой, выполненной в виде гофр трапециевидной формы, обеспечена при условии качественного выполнения соединения деталей между собой.

© Фроловская А.В., Шамбина С.Л., Петрова Ю.М., 2017

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] *Енджиевский Л.В., Крылов И.И., Кренин А.Н., Терешкова А.В.* Ограждающие и несущие строительные конструкции из стальных тонкостенных профилей: монография. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2010. 281 с.
- [2] *Фроловская А.В., Петрова Ю.М., Химченко Н.Н.* Исследование несущей способности элементов стропильной фермы из тонкостенных оцинкованных профилей // Молодая мысль: наука, технологии, инновации: материалы VIII (XIV) Всероссийской научно-технической конференции. Братск: Изд-во БрГУ, 2016. С. 35—39.
- [3] EN 1993-1-3:2006. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for coldformed members and sheeting. Brussels: CEN, 2006. 134 p.
- [4] AISI S100-2007. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. Washington: American Iron and Steel Institute, 2007. 198 p.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 11 декабря 2016

Дата принятия к печати: 22 января 2017

Для цитирования:

Фроловская А.В., Шамбина С.Л., Петрова Ю.М. Конструктивное решение стальной балки из тонкостенных холодногнутых профилей // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2017. Т. 18. № 1. С. 7—13.

Сведения об авторах:

Александра Викторовна Фроловская, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и управляемых систем, Инженерно-строительный институт,

Сибирский федеральный университет (ФГАОУ ВО СФУ). *Сфера научных интересов*: проектирование и расчет уникальных металлических легких конструкций. *Контактная информация*: e-mail: Tereshkova81@mail.ru.

Светлана Львовна Шамбина, кандидат технических наук, доцент департамента архитектуры и строительства Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Сфера научных интересов*: расчет конструкций из композитных материалов, архитектура и геометрия большепролетных строительных конструкций. *Контактная информация*: e-mail: shambina_sl@mail.ru.

Юлия Михайловна Петрова, магистрант кафедры строительных конструкций и управляемых систем, Инженерно-строительный институт, Сибирский федеральный университет (ФГАОУ ВО СФУ). *Сфера научных интересов*: проектирование и расчет уникальных металлических конструкций. *Контактная информация*: e-mail: yevtifeva@mail.ru.

CONSTRUCTIVE DECISIONS OF STEEL BEAMS MADE OF THIN-WALLED COLD-FORMED PROFILES

A.V. Frolovskaya¹, S.L. Shambina², Y.M. Petrova¹

¹ Siberian Federal University
Svobodny pr., 79, Krasnoyarsk, Russia, 660041

² Engineering Academy
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The article considers the worked out optimal variant of a constructive design for a steel covering beam having a compound cross-section made of thin-walled cold-formed sections. Numerical studies have been carried out for various options of beams taking into account reduction of cross-section. Tests were made of the created an optimal variant of a beam in full size.

Key words: light steel thin-walled structures, cold-formed profiles, steel beam coating constructive solutions

REFERENCES

- [1] Endzhievsky L.V, Krylov I.I., Kretinin A.N., Tereshkova A.V. Ograzhdaiushchie i nesushchie stroitelnye konstrukticii iz stalnykh tonkostennykh profilei: monografiia. Krasnoiarsk: Sibirskii federalnyi universitet, 2010. 281 p.
- [2] Frolovskaya A.V., Petrova Yu.M., Khimchenko N.N. Issledovanie nesushchei sposobnosti elementov stropilnoi fermy iz tonkostennykh otcinkovannykh profilei. Molodaya mysl: nayka, tekhnologii, innovatsii: materialy VIII (XIV) Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2016. Pp. 35—39.
- [3] EN 1993-1-3:2006. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for coldformed members and sheeting. Brussels: CEN, 2006. 134 p.
- [4] AISI S100-2007. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. Washington: American Iron and Steel Institute, 2007. 198 p.

Article history:

Received: 11 December 2016

Accepted: 22 January 2017

For citation:

Frolovskaya A.V., Shambina S.L., Petrova Y.M. (2017) Constructive decisions of steel beams made of thin-walled cold-formed profiles. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18 (1), 7–13.

Bio Note:

Alexandra V. Frolovskaya, PhD (in Technical Sciences), Associate Professor of Department “Building structures and managed systems” at Engineering and Construction Institute of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. *Research Interests*: design and calculation of unique metal light-weight structures. *Contact information*: e-mail: Tereshkova81@mail.ru.

Svetlana L. Shambina, PhD (in Technical Sciences), Associate Professor of Department of Architecture and Construction, Engineering Academy, Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia. *Research Interests*: calculation of structures made of composite materials, architecture and geometry of large-span building structures. *Contact information*: e-mail: shambina_sl@mail.ru.

Julia M. Petrova, graduate student of the Department “Building structures and managed systems” at Engineering and Construction Institute of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. *Research Interests*: design and calculation of unique metal light-weight structures. *Contact information*: e-mail: yevtifeva@mail.ru.