



УДК 69.024.81

Кузнецов Иван Леонидович

доктор технических наук, профессор

E-mail: kuz377@mail.ru

Салахутдинов Марат Айдарович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: lider-kazan@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Гайнетдинов Ришат Габдулхаевич

инженер-конструктор

E-mail: rishat.gajnetdinov@bk.ru

ООО «Акведук»

Адрес организации: 420097, Россия, г. Казань, ул. Заслонова, д. 5

Стенд и результаты испытания фермы пролетом 24 м со стержнями из оцинкованных холодногнутых профилей

Аннотация

Постановка задачи. Целью статьи является определение критической несущей способности и деформативности разработанной фермы из оцинкованных холодногнутых профилей пролетом 24 м. Для проведения экспериментальных исследований разработан стенд и методика проведения испытаний, а также система установки гидравлических домкратов, создающих загрузку фермы.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в том что, при испытании были выявлены недостатки фермы. Разработаны рекомендации по совершенствованию конструкции фермы. Изменения касаются конструкции нижнего пояса и увеличении массы стенда в месте крепления ферм. Выполнение указанных рекомендаций показало, что разрушение фермы происходит при нагрузке в 1,25 раз больше расчетной, а прогиб не превышает предельно допустимого значения.

Выводы. Значимость полученных результатов исследования для строительной отрасли состоит в том, что разработанная и усовершенствованная ферма пролетом 24 м обеспечивает требуемую несущую способность и деформативность.

Ключевые слова: ферма из холодногнутых профилей пролетом 24 м, стенд для испытания, установка гидравлических домкратов, методика испытаний, результаты испытания.

Введение

В настоящее время в строительстве широко используются оцинкованные холодногнутые профили [1-2]. Их применение стало наиболее востребованным с момента разработки методов расчета [3-7] и возможности их использования в решетчатых конструкциях. В частности, они стали применяться при производстве ферм покрытия, стержни которых соединяются при помощи болтов [8-16]. Следует отметить применение этих ферм при небольших пролетах [11-12]. Однако использование таких конструкций при больших пролетах, а именно более 15 м [8-10] ставит вопрос обеспечения их деформативности и устойчивости.

Ферма пролетом 24 м из оцинкованных холодногнутых профилей

Ферма пролетом 24 м, разработанная ЗАО «Ариада», выполнена с уклоном верхнего пояса, с высотой в середине пролета 2200 мм, на опоре – 1850 мм (рис. 1). Стержни фермы выполнены из оцинкованных холодногнутых профилей из стали класса С350. Сечения элементов указаны в таблице. Соединение стержней выполнено на болтах М16 класса прочности 5,6 на фасонках толщиной 16 мм из стали класса С245. Ферма рассчитана на узловую нагрузку 5,205 т, а центральный прогиб фермы при нормативной нагрузке составляет – 65 мм. Верхний и нижний пояса фермы выполнены по длине из двух элементов

соединенных в середине пролета. Стержни верхнего пояса соединены двумя рядами болтов в количестве 44 шт., а нижний пояс – тремя рядами болтов в количестве 42 шт.

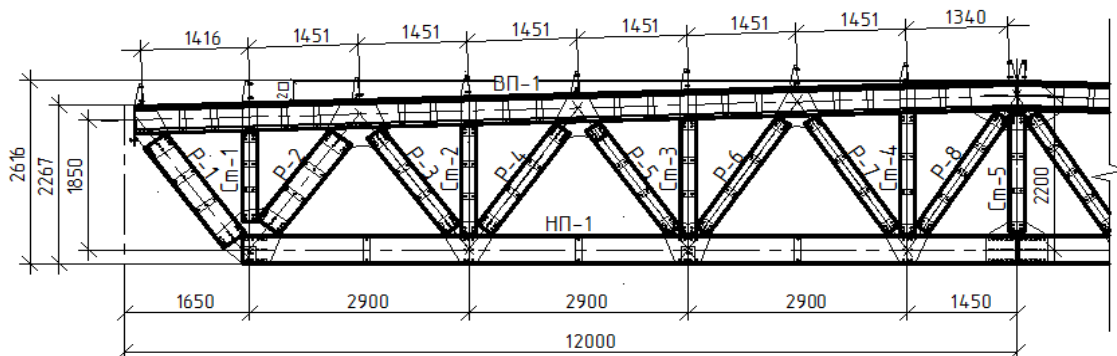


Рис. 1. Схема полуфермы пролетом 24 м (ЗАО «Ариада», 2016 г.)

Таблица

Сечения элементов фермы

Наименование элемента фермы	Сечение	Марка сечения	Характеристики одиночного сечения, мм
Верхний пояс ВП-1		2АСГ 400-100-30-4,0	H=400 B=100 t=4,0 C=30
Нижний пояс НП-1		2АС-400-98-25-4,0	H=400 B=100 t=4,0 C=25
Раскос P1-P2		2АС-350-98-25-4,0	H=350 B=98 t=4,0 C=25
Раскос P3-P4		2АС-250-90-20-3,0	H=250 B=90 t=3,0 C=20
Раскос P5-P8, стойка Ст1-Ст5		2АС-200-80-20-3,0	H=200 B=80 t=3,0 C=20

Учитывая имеющееся конструктивное решение разработанной фермы, необходимо определить её фактическую несущую способность и деформативность.

Стенд и испытание фермы

Для испытания ферм в горизонтальном положении был разработан стенд размерами 6×24 м из оцинкованных профилей, установленный и закрепленный к бетонным блокам П1 размерами 0,3×0,3×0,3 м (рис. 2).

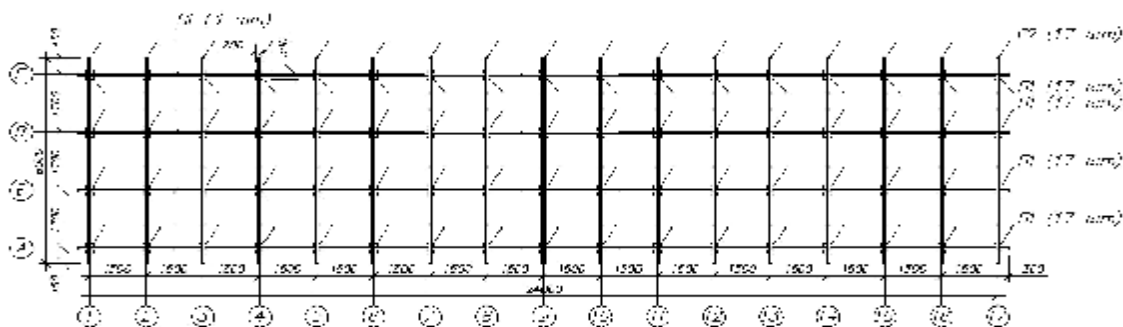


Рис. 2. Горизонтальный стенд для испытания ферм пролетом до 24 м:
С1, С2 – профиль из холодногнутого швеллера 200×80 мм
(Кузнецов И.Л., Фахрутдинов А.Э., КГАСУ, 2018 г.)

Фактическое исполнение стенда отличается от проектного. При изготовлении стенда железобетонные блоки были заменены на стальные стойки с возможностью выравнивания горизонтальной установки при помощи болтовых креплений и опорных фланцев.

Для получения данных о несущей способности и деформативности использовались две фермы, уложенные на горизонтальный стенд (рис. 2). Фермы между собой соединяются по опорным узлам при помощи стального листа сечением 2400×350×10 мм со сварными фасонками для восприятия опорной реакции. Для исключения потери устойчивости из плоскости были установлены упоры из холодногнутого швеллера 200×80 мм длиной 2 м и соединены по концам со стендом тягами длиной 600 мм. Общий вид стенда для испытания с установленными фермами приведен на (рис. 3).



Рис. 3. Установка двух ферм на стенд для испытания
и обеспечение устойчивости из плоскости путем установки
специальных удерживающих элементов (ЗАО «Ариада», 2018 г.)

Для загрузки ферм во всех узлах, кроме опорных, установлены гидродомкраты ДУ10П250 с максимальной силой давления 10 т. Данные гидродомкраты оперты на специальные упоры, прикрепленные на болтах к элементам крепления прогонов к ферме. Кроме того, гидродомкраты шарнирно присоединены к поперечным швеллерам стенда. Гидродомкраты связаны между собой системой шлангов РВД2000К через делители РПЛ 1-5 и подключены к ручной насосной станции НРГ-8080. Во всей гидросистеме обеспечивается одинаковое давление. На выходе насосной станции установлен манометр виброустойчивый МА100ВУ63. В систему залито специальное гидравлическое масло.

Для обеспечения устойчивости верхних поясов ферм с шагом 1,5 м установлены удерживающие балки, шарнирно соединенные с элементами стенда (рис. 4).



Рис. 4. Установка элементов, обеспечивающих устойчивость верхних поясов из плоскости и гидродомкратов, создающих нагрузку в каждом верхнем узле фермы (ЗАО «Ариада, 2018 г.)

Величина узловой нагрузки на ферму определялась по формуле:

$$F = M \cdot A, \quad (1)$$

где M – показания по манометру, МПа;

$A = nr^2$ – площадь поперечного сечения плунжера гидроцилиндра, см²;

$r = 2,2$ см – радиус плунжера гидроцилиндра.

Испытание ферм проводилось в несколько этапов. При первом испытании при узловой нагрузке 3 т (67,63 % от нормативной) деформативность (прогиб) фермы по показанию прогибомера БПАО составляла 80 мм, что превышало теоритическое значение, равное 65 мм.

Принято решение выполнить нижний пояс фермы из трех элементов. Средний элемент длиной 12 м, а крайние по 4,5 м. Соединение данных стержней выполнялось в узлах с меньшим числом болтов. Повторное испытание фермы показало, что прогиб существенно уменьшился и удовлетворяет предельно допустимым значениям (рис. 5).



Рис. 5. Прогиб нижнего пояса фермы под нагрузкой (ЗАО «Ариада, 2018 г.)

Однако при узловой нагрузке 4,86 т (93,37 % от расчетной) произошла упругая потеря устойчивости сжатых элементов, что отмечалось выпучиванием фермы и отрывом стэнда от поверхности его крепления (рис. 6). Принято решение о загрузке стэнда с опорных частей ферм пригрузом по 1,5 т, что позволило провести дальнейшее загрузку. При этом достигнута узловая нагрузка $F = 6,764$ т, что на 25 % превышает расчетное значение, а прогиб при этом составил $f = 87$ мм.



Рис. 6. Внезапное вертикальное перемещение из плоскости крайних узлов ферм и элементов стенда (ЗАО «Ариада, 2018 г.)

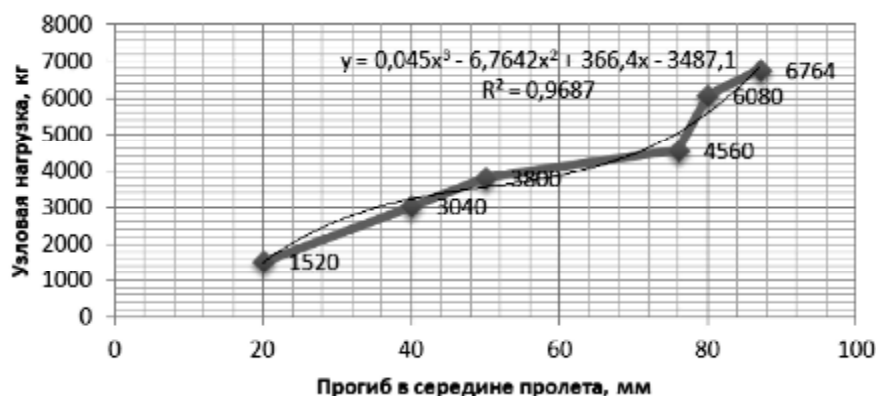


Рис. 7. График зависимости фактических прогибов от узловой нагрузки (Кузнецов И.Л., Салахутдинов М.А., 2018 г.)

Заключение

По результатам разработки стенда и проведения испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Ферма пролетом 24 м обладает требуемой несущей способностью и деформативностью, при условии выполнения нижнего пояса из трех элементов, среднего – длиной 12 м и двух крайних по 4,5 м. При этом установлено, что разрушающая нагрузка превышает расчетную нагрузку в 1,25 раза.

2. Стенд для испытания фермы должен обладать требуемой массой, а именно его торцевые и средние опоры должны быть массой не менее 1 т, а все остальные – не менее 0,3 т.

3. В коньковом узле верхнего пояса необходимо выполнить двутавровое сечение листовой фасонки и исключить из конструкции центральную стойку.

Список библиографических ссылок

1. Айрумян Э. Л. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей ООО «Балт-Профиль». М., 2004. 70 с.
2. Семенов В. С. Быстро возводимые малоэтажные здания из легких стальных тонкостенных конструкций // Вестник КРСУ. 2007. № 6. С. 61–68.
3. Белый Г. И. Методы расчета стержневых элементов конструкций из тонкостенных холодногнутых профилей // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 4 (45). С. 32–37.
4. EN 1993-1-3-2004. Eurocode – Design of steel structures. Part 1-3: General – Supplementary rules for cold formed members and sheeting. European Committee for Standardization, 2004.
5. Basaglia C., Camotim D., Silvestre N. Post-buckling analysis of thin-walled steel frames using generalized beam theory (GBT) // Thin – Walled Structures. 2013. P. 229–242.
6. Yao Z., Rasmussen K. J. Material and geometric nonlinear isoparametric spline finite strip analysis of perforated thin-walled steel structures – Numerical investigations. Thin-walled structures. 2011. P. 1374–1379.

7. Wallace James A., Schuster R. M., La Boubé R. A. Testing of bolted cold-formed steel connections in bearing (with and without washers) // Final report by Canadian Cold Formed Steel Research Group, Department of Civil Engineering, University of Waterloo, Ontario, Canada. 2001. 33 p.
8. Зверев В. В., Семенов А. С. Влияние податливости болтовых соединений на деформативность фермы из тонкостенных гнутых профилей // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2008. № 2 (10). С. 9–7.
9. Белый Г. И., Айрумян Э. Л. Исследования работы стальной фермы из холодногнутой профилей с учётом их местной и общей устойчивости // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 5. С. 41–44.
10. Предотвращение аварий зданий и сооружений // PAMAG.RU : ежедн. интернет-изд. 2009. URL: <http://prevdis.ru/naturnye-ispytaniya-stropilnoj-fermy-iz-tonkostennyh-holodnognutyh-profilej.html> (дата обращения: 15.09.2018).
11. Колесов А. И., Лапшин А. А., Ямбаев И. А., Морозов Д. А. Опытное исследование стальных ферм из тонкостенных холодногнутой профилей на самонарезающих винтах // Приволжский научный журнал. 2013. № 4 (28). С. 15–19.
12. Гарифуллин М. Р., Ватин Н. И. Устойчивость тонкостенного профиля при изгибе – краткий обзор публикаций // Строительство уникальных зданий и сооружений 2014. № 6 (21). С. 32–49.
13. Ведяков И. И., Одесский П. Д., Соловьев Д. В. Несущая способность болтовых соединений легких конструкций из холодногнутой профилей малых толщин // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 3. С. 19–22.
14. Кузнецов И. Л., Фахрутдинов Р. Р., Рамазанов Р. Р. Результаты экспериментальных исследований работы соединений тонкостенных элементов на сдвиг // Вестник МГСУ. 2016. № 12. С. 34–43.
15. Кунин Ю. С., Колесов А. И., Ямбаев М. А., Морозов Д. А. Усиление и расчет стальных конструкций из тонкостенных холодногнутой профилей с учетом податливости узловых соединений // Вестник МГСУ. 2012. № 11. С. 74–81.
16. Мысак В. В., Туснина О. А., Данилов А. И., Туснин А. Р. Особенности работы соединений металлических элементов на заклепках различных типов // Вестник МГСУ. 2014. № 3. С. 82–89.

Kuznetsov Ivan Leonidovich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: kuz377@mail.ru

Salakhoutdinov Marat Aidarovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: luder-kazan@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Gainetdinov Rishat Gabdulhaevich

design engineer

E-mail: rishat.gajnetdinov@bk.ru

LLC «Akveduk»

The organization address: 420097, Russia, Kazan, Zaslonovala st., 5

**Stand and test results of a 24 m span truss with elements
of galvanized cold-formed profiles****Abstract**

Problem statement. The purpose of the article is to determine the critical bearing capacity and deformability of the developed truss from galvanized cold-formed profiles by a span of 24 m. To carry out experimental studies, a test stand and test procedure is proposed, as well as the installation of hydraulic jacks that create the loading of the truss.

Results. The tests carried out revealed the disadvantages of the truss. For the truss are developed recommendations. These recommendations relate to the design of the down chord and the increase in the weight of the test stand at place of joining the trusses. The recommendations are made and results showed us that the destruction of the truss occurred at a load 1,25 times higher than the calculated one, and the deflection does not exceed the calculated value.

Conclusions. The significance of the research results for the construction industry is the developed and improved 24 m span truss provides load-bearing capacity and required deflection.

Keywords: truss from cold-formed profiles 24 m span, test stand, setting of hydraulic jacks, test methodology, test results.

References

1. Ayrumyan E. L. Recommendations for designing, manufacturing and assembling the structures of carcass of low-rise buildings and mansards from cold-bent steel zinc-plated profiles of OOO Balt-Profile. M., 2004. 70 p.
2. Semenov V. S. Quickly erected low-rise buildings from the lungs steel thin-walled constructions // Vestnik KRSU. 2007. № 6. P. 61–68.
3. Belyy G. I. Methods for calculating the rod elements of structures from thin-walled cold-formed profiles // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2014. № 4 (45). P. 32–37.
4. EN 1993-1-3-2004. Eurocode – Design of steel structures. Part 1-3: General – Supplementary rules for cold formed members and sheeting. European Committee for Standardization, 2004.
5. Basaglia C., Camotim D., Silvestre N. Post-buckling analysis of thin-walled steel frames using generalized beam theory (GBT) // Thin – Walled Structures. 2013. P. 229–242.
6. Yao Z., Rasmussen K. J. Material and geometric nonlinear isoparametric spline finite strip analysis of perforated thin-walled steel structures – Numerical investigations. Thin-walled structures. 2011. P. 1374–1379.
7. Wallace James A., Schuster R. M., La Boube R. A. Testing of bolted cold-formed steel connections in bearing (with and without washers) // Final report by Canadian Cold Formed Steel Research Group, Department of Civil Engineering, University of Waterloo. Ontario, Canada. 2001. 33 p.
8. Zverev V. V., Semenov A. S. Influence of bolted connections compliance on deformability of girder made from slender roll-formed sections // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2008. № 2 (10). P. 9–17.
9. Belyy G. I., Ayrumyan E. L. Investigations of the work of a steel truss from cold-formed profiles taking into account their local and general stability // Promyshlennoye grazhdanskoye stroitel'tvo. 2010. № 5. P. 41–44.
10. Preventing accidents of buildings and structures // PAMAG.RU : daily. internet-edit. 2010. URL: <http://prevdis.ru/naturnye-ispytaniya-stropilnoj-fermy-iz-tonkostennyh-holodnognutyh-profilej.html> (reference date: 15.09.2018).
11. Kolesov A. I., Lapshin A. A., Yambaev I. A., Morozov D. A. Experimental study of steel trusses from thin-walled cold-formed profiles on self-tapping screws // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. 2013. № 4 (28). P. 15–19.
12. Garifullin M. R., Vatin N. I. Buckling analysis of thin-walled cold-formed beams – short review // Stroitel'stvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. № 6 (21). P. 32–49.
13. Vedyakov I. I., Odesskiy P. D., Solov'yev D. V. Bearing capacity of bolted connections of light structures from cold-formed profiles of small thicknesses // Promyshlennoye grazhdanskoye stroitel'tvo. 2010. № 3. P. 19–22.
14. Kuznetsov I. L., Fakhrudinov A. E., Ramazanov R. R. Results of experimental research for shear strain of connections of thin-walled elements // Vestnik MGSU. 2016. № 12. P. 34–43.
15. Kunin Yu. S., Kolesov A. I., Yambaev I. A., Morozov D. A. Strengthening and analysis of steel structures made of thin-walled cold-bent profiles with account for the yield of joint connections // Vestnik MGSU. 2012. № 11. P. 74–81.
16. Mysak V. V., Tushina O. A., Danilov A. I., Tushin A. R. Features of the work of metal compounds on rivets of various types // Vestnik MGSU. 2014. № 3. P. 82–89.