



УДК 69.024.81

Кузнецов Иван Леонидович

доктор технических наук, профессор

E-mail: kuz377@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

Центральный узел верхнего пояса стропильной фермы из стержней холодногнутого профиля

Аннотация

Постановка задачи. При проектировании стропильных ферм из холодногнутого профиля используется болтовое крепление в узлах, соединяющих ее элементы с листовыми фасонками. Данное соединение центрального узла верхнего пояса приводит к снижению его прочности, жесткости из плоскости. В существующих решениях сделаны выводы о данных узловых соединениях, а именно показана их прочность, деформативность и усиление, что рационально при проектировании ферм из тонкостенных холодногнутого элементов.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в разработке конструктивного решения узла соединения и определении его напряженно-деформированного состояния по результатам расчета в программном комплексе «Solidworks».

Выводы. Значимость полученных результатов исследования для строительной отрасли состоит в том, что проведенные расчеты позволят судить о работе соединенных элементов верхнего пояса. Предложенное конструктивное исполнение фасонки может найти применение при изготовлении стропильных ферм покрытия.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, стропильный узел фермы, соединительная фасонка, тонкостенный профиль, ферма покрытия.

Введение

В последнее время в строительстве активно используются оцинкованные холодногнутые профили [1-4]. Эти профили имеют разное поперечное сечение, толщина которых находится в пределах до 5 мм. Их широкое применение связано, прежде всего, с доступностью изготовления и реализацией различных конструкций, удовлетворяющих требования потребителя. В частности, тонкостенные профили нашли применение при производстве различных несущих конструкций. Среди них особый интерес представляют конструкции ферм покрытий [5-8]. При этом данные фермы изготавливаются различных пролетов. Однако при больших пролетах – более 15 м, возникают проблемы их деформативности и обеспечения требуемой несущей способности. Причиной существующих проблем является принятые соединения стержней тонкостенных холодногнутого элементов.

На сегодняшний день существуют следующие виды соединений тонкостенных холодногнутого элементов, из которых собирается ферма: при помощи фасонки из листовой стали и бесфасонное на самонарезающих винтах. Соединение элементов в данном случае выполняется при помощи листовой фасонки. Листовая фасонка и элементы ферм скрепляются болтовыми соединениями [9-13]. Применение болтового соединения в отличие от сварного технологично при изготовлении и транспортировке, однако при эксплуатации фермы не обеспечиваются требования деформативности и несущей способности.

Так как несущие конструкции из тонкостенных холодногнутого профилей на рынке строительства появились относительно недавно, то возникает необходимость

исследования напряженно-деформированного состояния элементов, узлов их соединений, а также требуется разработка конструктивных мер по устранению выше указанных недостатков.

Центральный узел верхнего пояса изготовленной стропильной фермы пролетом 24 м

Центральный узел фермы пролетом 24 м выполнен с уклоном, элементы верхнего пояса соединены по длине на болтах М16 класса прочности 5,6 в два ряда в общем количестве 44 шт. на фасонках толщиной 16 мм из стали класса С245 (рис. 1). Фасонка изготавливается из черной стали, которая проходит цинкование. Стержни фермы из оцинкованных холодногнутых профилей из стали класса С350. Сечения элементов указаны в таблице.

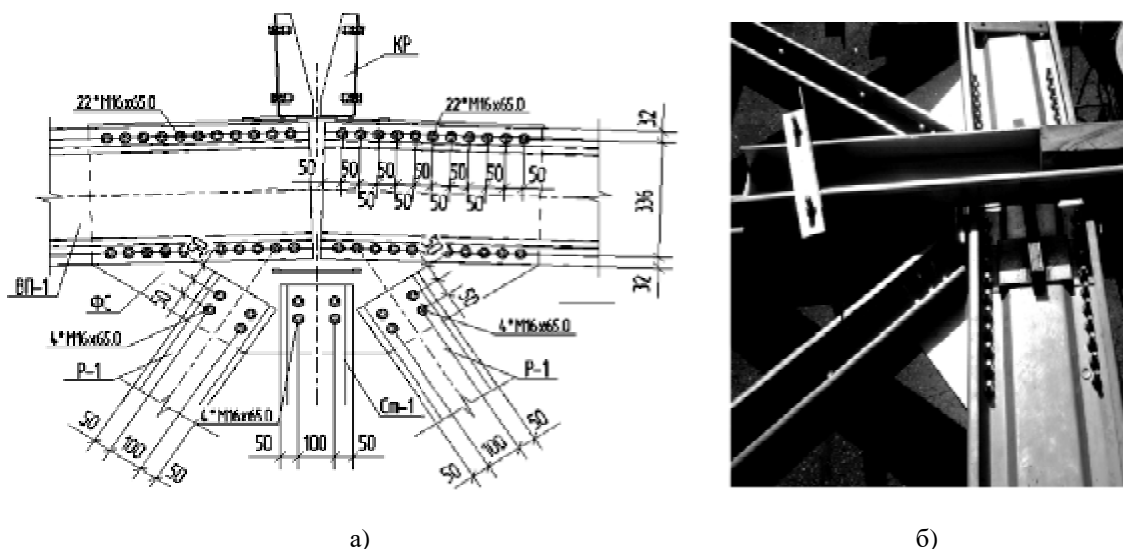


Рис. 1. Стропильный узел фермы пролетом 24 м (иллюстрация авторов):
 а) проектное выполнение центрального узла верхнего пояса фермы;
 б) обеспечение устойчивости узла из плоскости в процессе испытания:
 ВП-1 – элементы пояса, ФС – фасонная деталь, P-1 – элементы раскоса,
 Ст – элементы стойки, КР – кронштейн для крепления прогонов

Таблица

Сечения элементов узла

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
Раскос P5-P8, стойка Ст1-Ст5		2АС-200-80-20-3,0	H=200 B=80 t=3,0 C=20

Верхний пояс фермы выполнен из профиля, указанного в таблице. В этом профиле, для обеспечения устойчивости стенки, реализована плоская выпуклость внутрь. Поэтому, при соединении двух элементов, их примыкание к листовой фасонке осуществляется только по краям. Исходя из этого узловое соединение выполнено из двух рядов болтов, что не отвечает требованиям норм СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II -23-81», а именно расстоянию между рядами.

При испытании данной фермы, центральный узел верхнего пояса, который изображен на (рис. 1а), показал, что при нагрузке меньше расчетной произошла потеря его устойчивости из плоскости. Это случилось за счет примыкания под углом в этом узле двух сечений верхнего пояса и их соединения болтами к листовой фасонке. Поэтому, для обеспечения устойчивости фермы, этот узел конструктивно был усилен (рис. 1б). Однако данное усиление возможно только при испытании, но не при эксплуатации и монтаже данной фермы.

Модель и расчет узла в программном комплексе

Построение модели узла выполнялось в программном комплексе «Solidworks», как сборка отдельных конструктивных ее элементов. Также определялась жесткость из плоскости фермы в рассматриваемом узле (рис. 2-3).

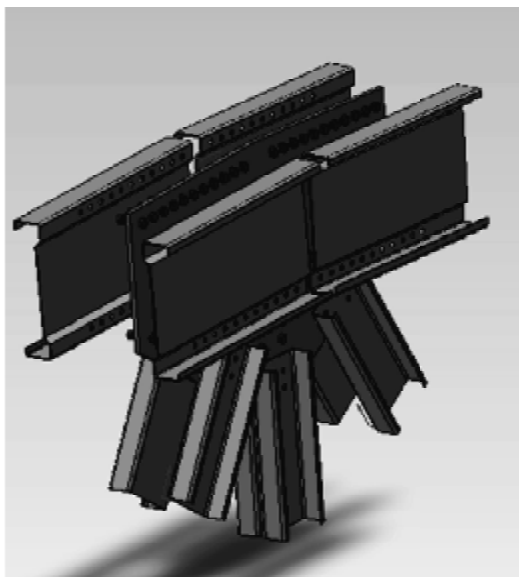


Рис. 2. Сборка узла (иллюстрация авторов)

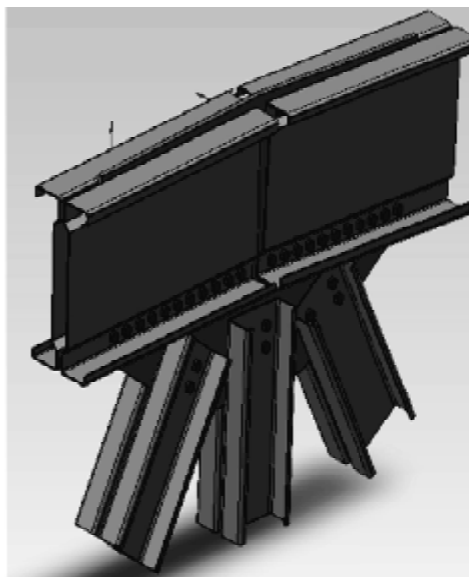


Рис. 3. Модель узла (иллюстрация авторов)

Для определения НДС в элементах узла использовался расчетный программный комплекс «Solidworks Simulation». Расчетная сжимающая нагрузка на верхний пояс определена из статического расчета фермы и составляет 104,3 т. Нагрузка прикладывалась, как равномерно распределенная по всему сечению верхнего пояса. Условия закрепления была принята, как фиксированная геометрия элементов узла. Метизы и материалы сборки модели задавались из библиотеки программного комплекса, исходя из существующего проектного решения. Контакт компонентов узла задавался, как связанный (глобальный контакт). Разбиения на сетки конечного элемента выполнялось на основе кривизны узла. Задача решалась в физической и геометрической нелинейной постановке (рис. 4-5).

По результатам расчета видно, что максимальное напряжение возникает в сечении верхнего пояса узла и составляет $\sigma=305,1 \frac{H}{мм^2}$. Каждый болт, по итогам исследования, воспринимает нагрузку 4,11 т, при этом минимальная несущая способность болта на срез составляет 8,4 т. Также, по результатам расчета в программном комплексе, были определены перемещения элементов узлов верхнего пояса стропильной фермы. Максимальное перемещение возникает в верхнем поясе узла и равно 0,7 мм, отмечается деформация элементов полки.

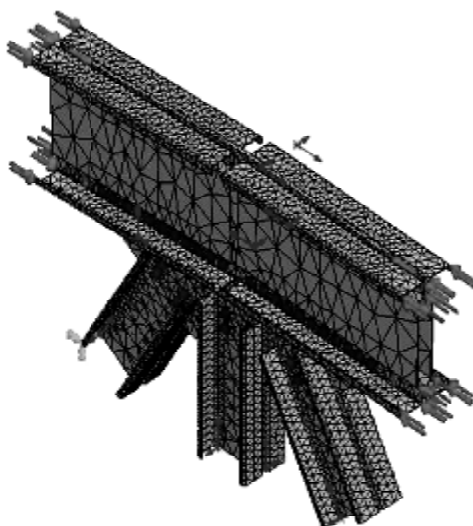


Рис. 4. Конечно-элементная модель узла (иллюстрация авторов)

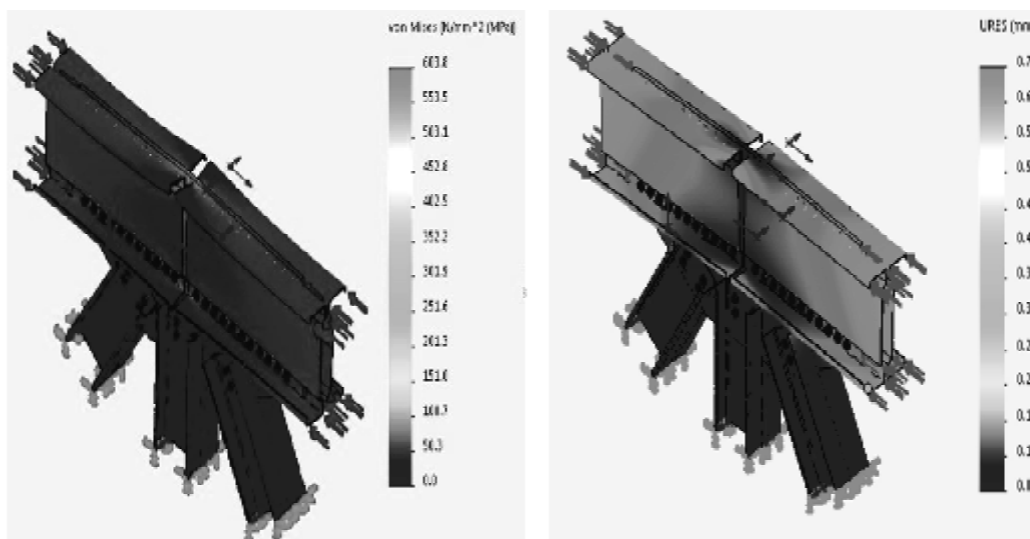


Рис. 5. НДС центрального узла верхнего пояса (иллюстрация авторов)

Для обеспечения требуемой жесткости узла из плоскости определены моменты сопротивления. Момент сопротивления верхнего пояса, состоящего из двух элементов (табл.) $W_{y1}=107,43 \text{ см}^3$, толщина листовой фанонки – 16 мм, $W_{y2}=0,68 \text{ см}^3$. Это означает, что при $W_{y1} > W_{y2}$ жесткость и устойчивость узла из плоскости в процессе монтажа и ее эксплуатации не будет обеспечена. Данное выполнение этого узла требует дальнейшего рассмотрения и разработки нового конструктивного исполнения.

Конструктивное изменение соединительной фанонки

С учетом расчета жесткости центрального узла верхнего пояса и анализа напряженного-деформированного состояния предлагается выполнить соединительную фанонку двутаврового сечения и исключить из узла центральную стойку, так как напряжения в ней не значительны (рис. 6а).

Двутавровая фанонка представляет собой приварку верхней и нижней полки листовой стали к существующей. Ширина полок $b=216$ мм, определялась исходя из размеров сечения верхнего пояса, толщина $t=16$ мм, длина L принята по размеру проектной фанонки. Момент сопротивления фанонки двутаврового сечения $W_{y3}=251,13 \text{ см}^3 > W_{y1}$, из этого следует, что устойчивость и жесткость центрального узла верхнего пояса из плоскости обеспечивается, что важно при монтаже и эксплуатации фермы.

Также возможно решение двутавровой фасонки в виде (рис. 6б), где высота ее диктуется исходя из сечения верхнего пояса фермы. Для того чтобы выполнить $e_x \rightarrow 0$, то есть уменьшить эксцентриситет в плоскости фермы, можно уточнить место установки и параметры сечения нижней полки двутавровой фасонки. Это позволит приблизить центр тяжести сечения верхнего пояса и фасонки.

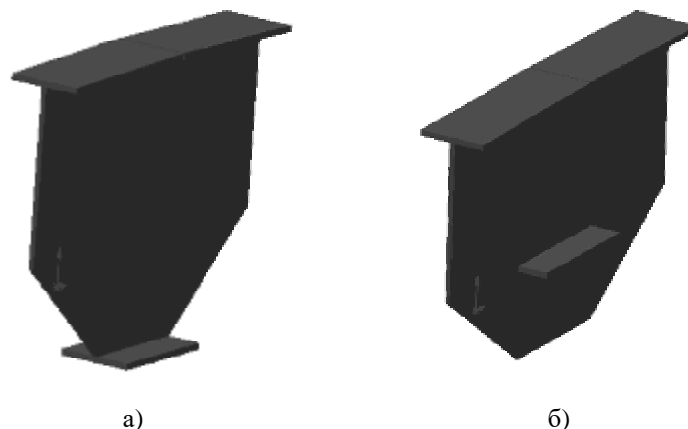


Рис. 6. Фасонка двутаврового сечения (кронштейны крепления для прогонов не показаны) (иллюстрация авторов)

Модернизированный центральный узел верхнего пояса представлен на (рис. 7).

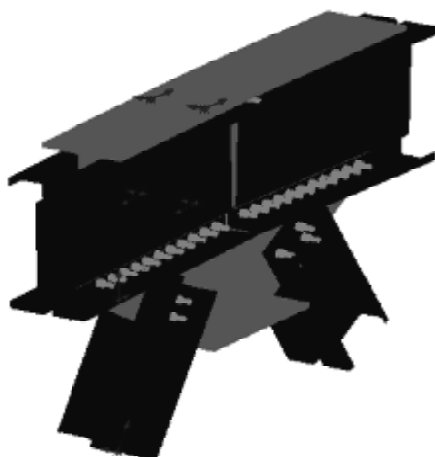


Рис. 7. Модернизированный центральный узел верхнего пояса фермы (иллюстрация авторов)

Заключение

По результатам расчета в программном комплексе и проведенного испытания фермы можно сделать следующие выводы:

1. Центральный узел, рассмотренной стропильной фермы, должен быть выполнен из фасонки двутаврового сечения, которая обеспечивает устойчивость и пространственную жесткость при эксплуатации и монтаже фермы.

2. При выполнении крепления пояса к узловой фасонке можно перейти на несколько рядов болтов, что позволит сократить размеры фасонки. Это будет рассмотрено авторами и дано в следующей статье.

3. Полученные результаты исследования центрального узла верхнего пояса фермы предлагается рассмотреть совместно со статьей Кузнецова И.Л., Салахутдинова М.А. и Гайнетдинова Р. Г. «Стенд и результаты испытания фермы пролетом 24 м со стержнями из оцинкованных холодногнутых профилей», опубликованной в научном журнале «Известия КГАСУ» № 4 в 2018 году.

Список библиографических ссылок

1. Айрумян Э. Л. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутой стальной оцинкованной профилей ООО «Балт-Профиль». М., 2004. 70 с.
2. Тулина Я. Е. Применение холодногнутой оцинкованной профилей для быстровозводимых зданий : сб. ст. VIII Международной научно-практической конференции «Научные исследования: от теории к практике». Том 1. 2016. С. 284–288.
3. Семенов В. С. Быстро возводимые малоэтажные здания из легких стальных тонкостенных конструкций // Вестник КРСУ. 2007. № 6. С. 61–68.
4. Ghersi A., Landolfo R., Mazzolani F. M. Design of metallic cold-formed thin-walled members // Spon Press, Taylor & Francis Group, New York. 2002. 198 p.
5. 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.
6. 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.
7. Предотвращение аварий зданий и сооружений // ПАМАГ.RU : ежедн. интернет-изд. 2009. URL: <http://prevdis.ru/naturnye-ispytaniya-stopilnoj-fermy-iz-tonkostennyh-holodnognutyh-profilej.html> (дата обращения: 15.09.2018).
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Жидков К. К., Зверев В. В., Семенов А. С., Стуканев Ю. Л. Повышение несущей способности узловых соединений конструктивных элементов ферм // Академический Вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. 2015. № 4. С. 88–90.
13. 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.

Kuznetsov Ivan Leonidovich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: kuz377@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

The central node of the upper belt truss from rods cold-formed profile

Abstract

Problem statement. When designing trusses from cold-formed profiles, bolting is used in the nodes connecting its elements with sheet gussets. This connection of the central node of the upper belt leads to a decrease in its strength, rigidity out of the plane. The existing solutions have drawn conclusions about these nodal joints, namely, their strength, deformability and reinforcement are shown, which is rational when designing trusses from thin-walled cold-formed elements.

Results. The main results of the research consist in the development of a constructive solution to the joint node and the determination of its stress-strain state as calculated in the «Solidworks» software package.

Conclusions. The significance of the research results for the construction industry is that the calculations made will allow to judge the work of the connected elements of the upper belt. The proposed design of the gusset can be used in the manufacture of roof trusses of the coating.

Keywords: the stress-strain state, the truss node, in the truss connection fasone, thin profile, truss coverage.

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 LLC Balt-Profile. M., 2004. 70 p.
2. Tulina Y. E. Application of cold-formed galvanized profiles for pre-fabricated buildings : col. of art. VIII International Scientific and Practical Conference «Scientific Research: From Theory to Practice». Volume 1. 2016. P. 284–288.
3. Semenov V. S. Quickly erected low-rise buildings from the lungs steel thin-walled constructions // Vestnik KRSU. 2007. № 6. P. 61–68.
4. Ghersi A., Landolfo R., Mazzolani F. M. Design of metallic cold-formed thin-walled members // Spon Press, Taylor & Francis Group, New York. 2002. 198 p.
5. 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. Stroitelstvo i arkhitektura. 2008. № 2 (10). P. 9–17.
6. 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.
7. 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).
8. 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.
9. 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.
10. Kuznetsov I. L., Fakhrutdinov 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.
11. 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.
12. Zhidkov K. E., Zverev V. V., Semenov A. S., Stukanov Y. L. Increasing of the load bearing capacity of the nodal connections of structural elements of the trusses made // Vestnik URALNIIPROEKT RAASN. 2015. № 4. P. 88–90.
13. 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.