

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

Болтовой узел соединения тонкостенных холодногнутых профилей с трапециевидной стенкой с применением сплошных втулок

Аннотация

Постановка задачи. Поставлена задача выполнить численное исследование напряженно-деформированного состояния узла из тонкостенных холодногнутых профилей с частью вогнутой плоской (трапециевидной) стенкой при установке сплошных втулок в зоне, где не происходит соприкосновение стенки профиля с листовой фасонкой; определить характер распределения напряжений в местах установки болтов с применением сплошных втулок.

Результаты. Основные результаты работы состоят в численном исследовании нового конструктивного решения болтового узла соединения и в определении его напряженно-деформированного состояния по результатам расчета в программном комплексе «ANSYS Workbench».

Выводы. Значимость полученных результатов исследования для строительной отрасли состоит в том, что новое конструктивное решение узла с применением сплошных втулок позволяет ликвидировать зазор между листовой фасонкой и трапециевидной стенкой профиля, тем самым выполнить болтовое крепление в данном месте и улучшить действительную работу узла. Следует отметить, что конструкция узла соединения с предложенным решением установки элементов в виде сплошных втулок позволяет сэкономить сталь на 20-30 %, в отличие от усиления узла листовой сталью.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние болтового узла, тонкостенный холодногнутый профиль с трапециевидной стенкой, листовая фасонка, сплошная втулка.

Введение

В последние годы на отечественном рынке строительства активно применяются конструкции из тонкостенных холодногнутых профилей [1-3]. Использование данных профилей в строительстве имеет, безусловно, целый ряд преимуществ, обусловленных прежде всего, легкостью конструкций, малыми затратами на изготовление фундамента, минимальными транспортными расходами, высокой технологичностью производства и сокращением сроков строительства. Однако наряду с важными преимуществами, имеются существенные недостатки тонкостенных холодногнутых профилей, которые не позволяют в полной мере совершить качественный рывок на пути внедрения их в строительство.

Технологическая линия изготовления тонкостенных холодногнутых профилей позволяет производить их разнообразной формы и очертания, где для повышения жесткости выполняются различные канавки и углубления [4]. Весьма интересными в этой связи являются профили с частью вогнутой плоской стенкой (трапециевидной) [5-11]. Эти профили находят применение при изготовлении несущих конструкций, в том числе ферм покрытий [12-13], рамных конструкций [14-15]. В отмеченных конструкциях используются спаренные тонкостенные профили, соединенные при помощи листовой фасонки на болтах [16]. Однако болтовое крепление спаренных профилей с трапециевидной стенкой возможно только в зоне контакта с листовой фасонкой. Ранее в

работе авторов [5] рассмотрен опытный образец болтового соединения спаренного тонкостенного профиля с трапециевидной стенкой, где отмечается неравномерное распределение напряжений по длине и высоте профиля. Предлагается усилить узел листовой сталью, для возможности установки дополнительных рядов болтов. Авторы отмечают, что постановка болтов в средней части сечения стенки профиля позволяет достичь равномерного распределения напряжений по всей длине и высоте профиля. Дано решение составного строительного элемента, выполненного из профилей с трапециевидной стенкой [17], авторы обращают внимание, что изобретение может использоваться в различных стержневых конструкциях, в том числе несущих.

При применении спаренных тонкостенных холодногнутых профилей с трапециевидной стенкой в несущих конструкциях важной является разработка новых конструктивных решений, позволяющих обеспечить не только несущую способность, но и оптимизировать расход стали на выполнение данных узловых решений.

Тонкостенный холодногнутый профиль с трапециевидной стенкой

В последнее время широкое применение в строительных конструкциях, а именно в сжатых элементах ферм, колон, рамных конструкций находят тонкостенные холодногнутые профили с трапециевидной стенкой ТУ 1122-023-129063390-2009 (рис. 1).

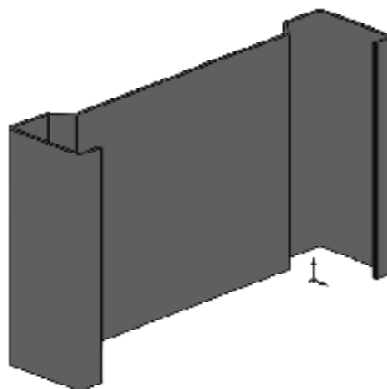


Рис. 1. Тонкостенный холодногнутый профиль с частью вогнутой плоской стенкой (трапециевидной) (иллюстрация авторов)

В основном данные профили используются в узлах конструкций в виде составного элемента, представляющего собой спаренные профили, соединенные листовой фасонкой при помощи болтов (рис. 2).

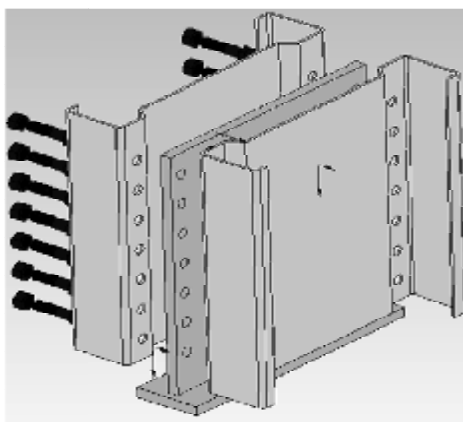


Рис. 2. Болтовой узел соединения спаренных тонкостенных холодногнутых профилей с трапециевидной стенкой (иллюстрация авторов)

По рис. 2 видно, что в узле установка болтов возможна только в зоне контакта листовой фасонки и профиля. В СП 260.1325800.2016. «Конструкции стальные

тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования» не регламентированы максимально допустимые расстояния между болтами, и авторами статьи выдвинута гипотеза [5] о том, что усилия, возникающее от действующей нагрузки по высоте профиля, распределяются неравномерно. Данная теория была успешно подтверждена путем численных и экспериментальных исследований опытного образца узла из тонкостенных холодногнутых профилей с трапецевидной стенкой, соединенных листовой фасонкой на болтах.

Болтовой узел с установкой сплошных втулок

В предыдущей работе [5] авторами предлагается выполнить усиление узла, путем заполнения пространства между трапецевидной частью стенки и фасонки листовой сталью, что позволит установить дополнительные ряды болтов. Однозначно данное конструктивное решение позволяет повысить несущую способность узлового соединения и, в дальнейшем, может найти применение при изготовлении решетчатых конструкций. Однако на этом не стоит останавливаться и необходимо искать пути к совершенствованию узлов с использованием тонкостенных холодногнутых профилей с трапецевидной стенкой, где важным критерием является не только обеспечение несущей способности, но и экономия стали. В связи с этим предлагается новое конструктивное решение узла из тонкостенных холодногнутых профилей с трапецевидной стенкой с установкой элементов в виде сплошных втулок (рис. 3).

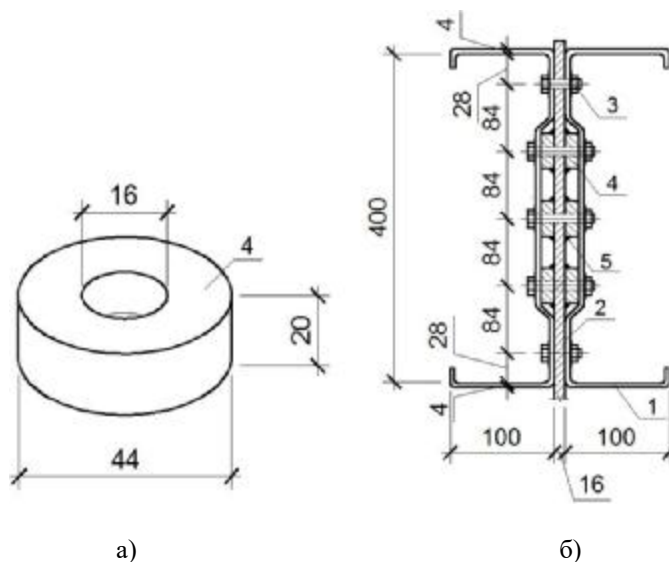


Рис. 3. Узел с установкой сплошных втулок (иллюстрация авторов):
 а – сплошная втулка; б – конструктивное решение узла,
 где 1 – тонкостенный холодногнутый профиль с трапецевидной стенкой;
 2 – листовая фасонка; 3 – болты; 4 – сплошная втулка; 5 – сварной шов

Узел представляет собой стержни из спаренных тонкостенных холодногнутых профилей с трапецевидной стенкой, соединенные в месте контакта листовой фасонкой на болтах. В зоне трапецевидной стенки профиля устанавливаются элементы, которые выполнены под каждый болт в виде сплошных втулок. При этом втулки прикреплены на сварке к фасонке. Представленное решение позволяет ликвидировать зазор между трапецевидной стенкой профиля и фасонкой, тем самым выполнить в данном месте болтовое крепление.

Численное исследование узла с установкой сплошных втулок

В статье [5] авторы, выполнив экспериментальные и численные исследования, пришли к тому, что многорядная постановка болтов в узловом соединении, за счет усиления листовой сталью, позволяет достичь равномерного распределения напряжений по всей длине и высоте профиля и сократить длину фасонки. Для того, чтобы доказать,

что при установке сплошных втулок можно достичь такого же эффекта, выполнено численное исследование напряженно-деформированного состояния (НДС).

Для исследования, с предложенным решением установки сплошных втулок, взят за основу опытный образец, представленный ранее в статье авторов [5], где тонкостенные профили выполнены из стали класса С350, соединенные листовой фасонкой из стали класса С245 на болтах М16 класса прочности 5,8. Несущая способность одного болта равна $N=7236$ кг, в количестве 10 штук, расположенных в два ряда. В новом узловом соединении (рис. 3) рассматривается такое же размещение болтов, как ранее в статье [5].

Решение задачи выполнялось в программном комплексе «ANSYS-Workbench», в основе которого заложены принципы метода конечных элементов (МКЭ). Модель узла представлена на (рис. 4).

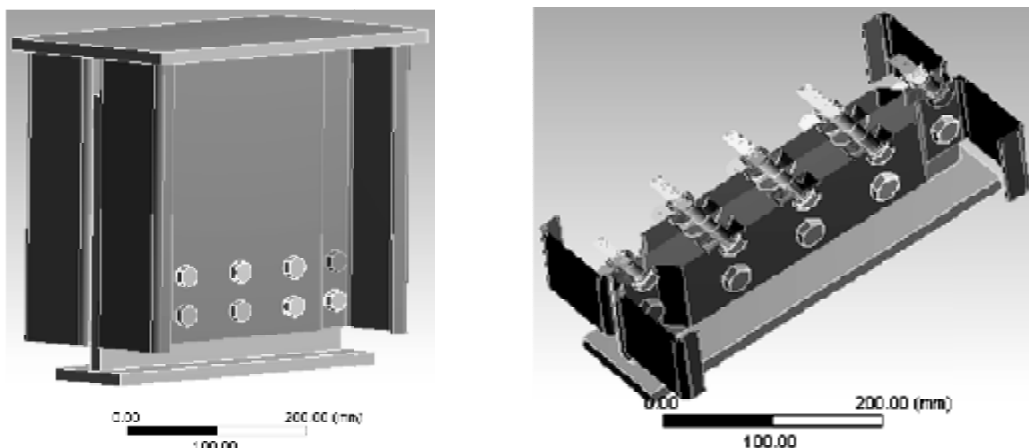


Рис. 4. Модель узла с установкой сплошных втулок (иллюстрация авторов)

Для возможности оценки предложенных решений узлов с усилением листовой стали и установкой сплошных втулок, прикладываемая сжимающая нагрузка и граничные условия те же, что и ранее в задаче [5]. Контакты между элементами сборки узла задавались, как «frictional» с коэффициентом 0,2. Напряженно-деформированное состояние узла с установкой сплошных втулок представлено на рис. 5.

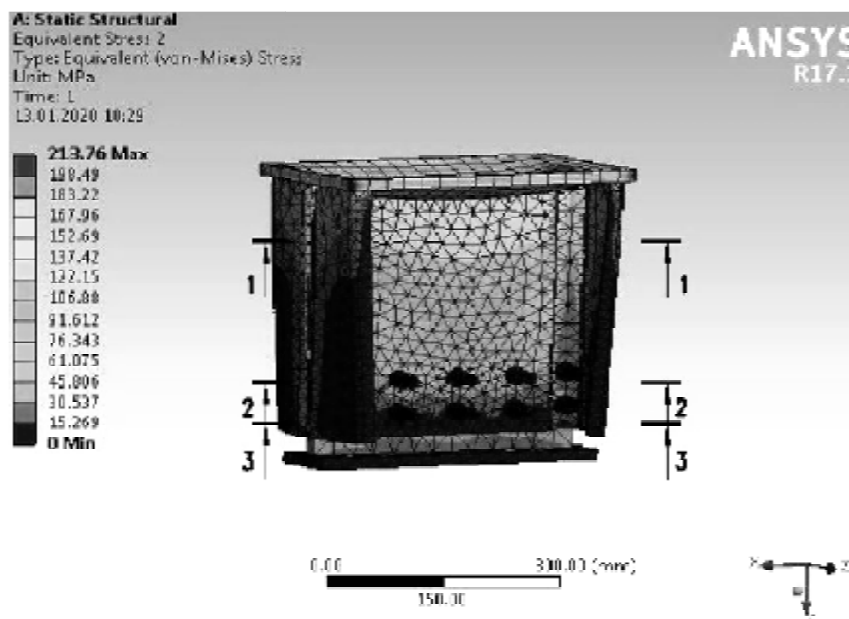


Рис. 5. Напряженно-деформированное состояние узла с установкой сплошных втулок (иллюстрация авторов)

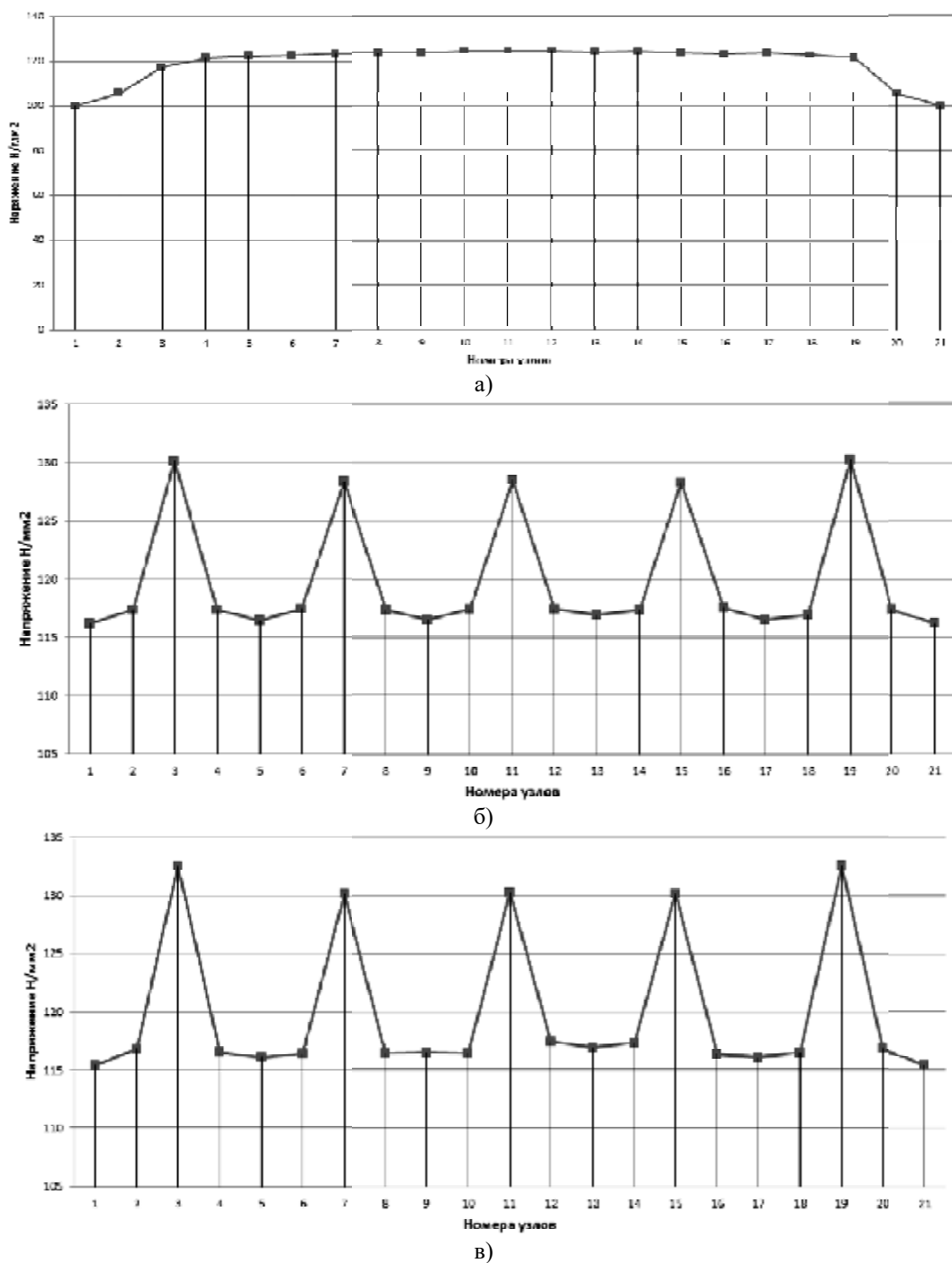


Рис. 6. Эпюры распределения напряжений по сечению профиля при многорядной постановке болтов с применением сплошных втулок (иллюстрация авторов): а) по сечению 1-1; б) по сечению 2-2; в) по сечению 3-3 (по рис. 4)

По приведенным графикам (рис. 6) напряжений можно заметить, что постановка болтов в зоне трапециевидной стенки профиля, за счет применения сплошных втулок, позволяет достигнуть более равномерного распределения напряжений по высоте и по длине профиля. По результатам определения НДС узла можно сказать, что предложенное конструктивное решение болтового узла с установкой элементов в виде сплошных втулок позволяет улучшить действительную работу узла. При этом достигается существенная экономия стали на 25,67 %, по сравнению с установкой стальных пластин, рассмотренных в работе [5].

Заключение

По результатам численных исследований узла можно сделать следующие выводы:

1. Узел, с предложенным решением установки болтов, в части трапециевидной стенки профиля за счет применения сплошных втулок, позволяет увеличить несущую способность узла на 40 %, по сравнению с двухрядной постановкой болтов в зоне контакта с листовой фасонкой.

2. Конструкция узла соединения из тонкостенных холодногнутых спаренных профилей с трапециевидной стенкой, с предложенным решением установки сплошных втулок, позволяет уменьшить расход стали на 20-30 %.

Список библиографических ссылок

1. Советников Д. О., Виденков Н. В., Трубина Д. А. Легкие стальные тонкостенные конструкции в многоэтажном строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 3. С. 152–165.
2. Мезенцева Е. А., Лушников С.Д. Быстровозводимые здания из легких стальных конструкций // Вестник МГСУ. Спецвыпуск. 2009. № 1. С. 62–64.
3. Павлов А. Б., Айрумян Э. Л., Камынин С. В., Каменщиков Н. И. Быстровозводимые малоэтажные жилые здания с применением легких стальных тонкостенных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 9. С. 51–53.
4. Айрумян Э. Л. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутого стального оцинкованного профиля производства ООО «Балтпрофиль» / ЦНИИПСК им. Мельникова. М., 2004. 64 с.
5. Кузнецов И. Л., Салахутдинов М. А., Гайнетдинов Р. Г. Исследование напряженно-деформированного состояния болтового узла соединения из холодногнутого тонкостенного профиля // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 7. С. 831–843.
6. Корсун Н. Д., Простакишина Д. А. Анализ НДС составного сечения из тонкостенных профилей с учетом начальных геометрических несовершенств // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. 2018. № 4. С. 83–88.
7. Кикоть А. А., Григорьев В. В. Влияние ширины пояса и параметров стенки на эффективность стального тонкостенного холодногнутого профиля Сигма-образного сечения при работе на изгиб // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 1. С. 97–133.
8. Anna Green Antony. Cold Formed Steel Sigma Section Joints // International journal of innovative research in technology. 2016. vol. 3. P. 231–237.
9. Anna Green Antony. Study on cold formed steel sigma sections and the effect of stiffeners // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2016. vol. 5. P. 16249–16255.
10. Bassem L., Gendy., Hanna M. T. Effect of geometric imperfections on the ultimate moment capacity of cold-formed sigma-shape sections // Housing and Building National Research Center HBRC Journal. 2015. P. 1–8.
11. Katarzyna Rzeszut., Iona Szewczak. Experimental studies of sigma thin-walled beams strengthen by CFRP tapes // World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Structural and Construction Engineering. 2017. vol. 11. № 7. P. 888–895.
12. Зверев В. В., Семенов А. С. Влияние податливости болтовых соединений на деформативность фермы из тонкостенных гнутых профилей // Строительство и архитектура. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. № 2 (10). С. 9–7.
13. Башаров Ф. Ф. Методика оптимизации конструктивных параметров плит покрытия из профнастила, подкрепленного шпренгельной системой // Перспективы науки. 2018. № 6 (10). С. 82–89.
14. Зверев В. В., Жидков К. Е., Семенов А. С., Сотникова И. В. Экспериментальные исследования рамных конструкций из холодногнутого профиля повышенной

- жесткости // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительства и архитектура. 2011. № 4. С. 20–24.
15. Енджиевский Л. В., Тарасов А. В. Численные и экспериментальные исследования рамы каркаса здания из тонколистовой оцинкованной стали // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 10. С. 52–54.
16. Aghoury M. El., Hanna M. T., Amoush E. A. Strength of combined sigma cold formed section columns // EUROSTEEL 2017, September 13-15, 2017, Copenhagen, Denmark. P. 1802–1811.
17. Гнутый стальной профиль и составной строительный элемент на его основе : пат. 2478764 Рос. Федерация. № 2011144954/03 ; заявл. 07.11.2011 ; опубл. 07.04.2013, Бюл. № 10. 9 с.

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

**Bolt assembly for connecting thin-walled cold-formed profiles
with a trapezoidal wall using continuous sleeves**

Abstract

Problem statement. To carry out a numerical study of the stress-strain state of a node of thin-walled cold-formed profiles with a part of a concave flat wall (trapezoidal) when installing solid bushings in the area where the profile wall and the sheet profile do not come into contact. Determine the nature of the stress distribution at the installation sites of the bolts using solid sleeves.

Results. The main results of the work consist of a numerical study of a new structural solution of the bolt joint assembly and determination of its stress-strain state according to the calculation results in the «ANSYS Workbench» software package.

Conclusions. The significance of the research results for the construction industry lies in the fact that the new constructive solution of the assembly using continuous sleeves allows eliminating the gap between the sheet gusset and the trapezoidal profile wall, thereby bolting in this place and improving the actual operation of the assembly. It should be noted that the design of the connection unit with the proposed solution for the installation of elements in the form of continuous sleeves allows saving steel by 20-30 %, in contrast to the strengthening of the site with sheet steel.

Keywords: stress-strain state of the bolt assembly, thin-walled cold-formed profile with a trapezoidal wall, sheet gusset plate, continuous sleeve.

References

1. Sovetnikov D. O., Videnkov N. V., Trubina D. A. Light gauge steel framing in construction of multi-storey buildings // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2015. № 3. P. 152–165.
2. Mezentseva Ye. A., Lushnikov S. D. Rapidly erected buildings from LGSF // Vestnik MGSU. Spetsvypusk. 2009. № 1. P. 62–64.
3. Pavlov A. B., Ayrumyan E. L., Kamynin S. V., Kamenshchikov N. I. Rapidly erected buildings from LGSF // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2006. № 9. P. 51–53.

4. 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 «Baltprofile». M., 2004. 70 p.
5. Kuznetsov I. L., Salakhutdinov M. A., Gainetdinov R. G. Investigation of the stress-deformation state of a bolt-joint assembly of cold-bent thin-walled profiles // Vestnik MGSU. 2019. № 7. P. 831–843.
6. Korsun N. D., Prostakishina D. A. Structural analysis of stress and strain state of paired thin-walled section with initial geometric imperfections // Akademicheskii vestnik URALNIIPROYEKT RAACS. 2018. № 4. P. 83–88.
7. Kikot A. A., Grigoriev V. V. Influence of flange width and wall parameters on effectiveness of cold-formed steel Sigma-profile in bending behavior // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2013. № 1. P. 97–133.
8. Anna Green Antony. Cold Formed Steel Sigma Section Joints // International journal of innovative research in technology. 2016. Vol. 3. P. 231–237.
9. Anna Green Antony. Study on cold formed steel sigma sections and the effect of stiffeners // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2016. Vol. 5. P. 16249–16255.
10. Bassem L., Gendy., Hanna M. T. Effect of geometric imperfections on the ultimate moment capacity of cold-formed sigma-shape sections // Housing and Building National Research Center HBRC Journal. 2015. P. 1–8.
11. Katarzyna Rzeszut, Ilona Szewczak. Experimental studies of sigma thin-walled beams strengthen by CFRP tapes // World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Structural and Construction Engineering. 2017. Vol. 11. № 7. P. 888–895.
12. Zverev V. V., Semenov A. S. Influence of bolted connections compliance on deformability of girder made from slender roll-formed sections // Stroitelstvo i arkhitektura. nauchnyy vestnik. Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2008. № 2 (10). P. 9–17.
13. Zverev V. V., Zhidkov K. Ye., Semenov A. S., Sotnikova I. V. Experimental researches of frame constructions from cold-formed profiles of raised rigidity // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitelstvo i arkhitektura. 2011. № 4. P. 20–24.
14. Basharov F. F. A technique for optimizing the design parameters of floor slabs made of corrugated board supported by a truss system // Perspektivy nauki. 2018. № 6 (10). P. 82–89.
15. Endzhievsky L. V., Tarasov A. V. Numerical and experimental research frames frame building of sheet galvanized steel // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2012. № 10. P. 52–54.
16. Aghoury M. El., Hanna M. T., Amoush E. A. Strength of combined sigma cold formed section columns // EUROSTEEL 2017, September 13-15, 2017, Copenhagen, Denmark. P. 1802–1811.
17. Bent steel profile and composite building element based on it : patent 2478764 of the Rus. Federation. № 2011144954/03 ; decl. 07.11.2011 ; publ. 07.04.2013. Bull. № 10. 9 p.