

УДК 624.94.014.2

**Т. В. НАЗМЕЕВА<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, эксперт АРСС; **В. А. БЕЛЫЙ<sup>1</sup>**, соискатель уч. степ. канд. наук кафедры теоретической механики и сопротивления материалов; **С. В. КЛЮЕВ<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, проф. кафедры теоретической механики и сопротивления материалов; **А. А. ОСОЛОДКИН<sup>2</sup>**, гл. конструктор

## УЗЛОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РАМНЫХ ЗДАНИЙ ИЗ СТАЛЬНЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46. Тел.: (921) 545-15-45; эл. почта: naztv@mail.ru

<sup>2</sup>Проектная группа «Наш Город»

Россия, 162600, г. Череповец, Вологодская область, пр. Победы, д. 85.

Тел.: (921) 546-82-68; эл. почта: aa\_osolodkin@bk.ru

*Ключевые слова:* холодногнутые профили, рамные здания, узел, метод конечных элементов.

---

*Описаны особенности узловых соединений рамных зданий из стальных холодногнутых профилей. Для восприятия действующих в узле усилий соединение холодногнутых профилей производят на болтах с использованием фасонки из малоуглеродистой стали. Для корректного выполнения расчета самого здания необходима корректная численная модель таких узлов для применения в расчетных комплексах. Авторами проведен анализ рамных зданий из стальных холодногнутых профилей и применяемых узлов, предложена методика моделирования узлов такого вида.*

---

Текущая экономическая ситуация в стране обусловила необходимость быстрого создания и развития собственного производства, и, следовательно, строительство цехов, ангаров, складов и сопутствующих зданий. Для таких целей все чаще применяются быстровозводимые рамные здания из стальных холодногнутых оцинкованных профилей [1] (рис. 1), в частности здания компании ЛСТК-УРАЛ, г. Челябинск, с использованием холодногнутых профилей были успешно применены в государственных строительных программах. Профили получают путем холодного профилирования на прокатных станах тонколистового оцинкованного проката толщиной 1–4 мм марки не ниже 350. Цинк обеспечивает дополнительную защиту от коррозии.

Конструктивная схема рамного здания состоит из стоек и ригеля покрытия, который может быть балочный или ферменного типа (рис. 2). В качестве ограждающих конструкций используют сэндвич-панели и профлист. Элементы рамы выполняют из равнополочных Сигма- или С-профилей, объединенных в двутавровое или коробчатое сечение (рис. 3). С точки зрения работы в конструкции, преимуществом при выборе профиля обладают Сигма-профили, так как имеют развитое ребро жесткости, что повышает несущую способность профилей и сопротивление любым формам потери устойчивости.



Рис. 1. Рамное здание производства ЛСТК-УРАЛ, г. Челябинск



Рис. 2. Конструктивная схема рамного здания с фермой

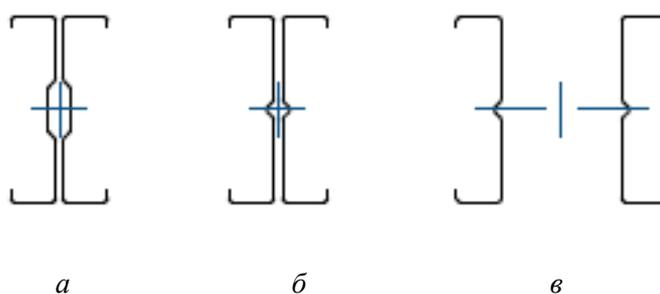


Рис. 3. Сечения элементов рамного здания: *а* – составное двутавровое сечение из Сигма-профилей; *б* – составное двутавровое сечение из С-профилей; *в* – сквозное коробчатое сечение из С-профилей

Соединение элементов каркаса в быстровозводимых рамных зданиях осуществляется с использованием фасонки из обычной малоуглеродистой стали С255, С345 по ГОСТ 27772 [2] при помощи болтовых соединений (рис. 4). В соединениях, работающих на срез, применяются болты нормальной точности ГОСТ 7798-70 [3] или аналоги, во фланцевых соединениях применяют

высокопрочные болты, гайки и шайбы ГОСТ Р 52643-2006 [4]. Толщина фасонки определяется расчетом и составляет не менее 6 мм.



Рис. 4. Соединение элементов каркаса рамных зданий: карнизный узел (слева), база

Требования к болтовым соединениям конструкций из холодногнутых профилей регулируются п. 11 свода правил СП 260.1325800.2023 [5], но в данном нормативном документе отсутствуют в целом требования к быстровозводимым рамным зданиям, элементам, системе связей и узлам. Проектировщики в настоящее время проектируют такие здания, опираясь либо на иностранный опыт, либо на решения классических рамных зданий из черного металла и не учитывают особенности поведения тонкостенных конструкций, связанные с учетом редукиции сечения и потери местной устойчивости. При этом профили и фасонки имеют различные механические характеристики, а болтовые соединения обладают определенной податливостью [6, 7], что, несомненно, отражается на поведении узла в целом.

Существуют серии рамных зданий из стальных холодногнутых профилей отдельных производителей, в частности серия 1.420.3-39.08 каркасы стальные «УНИТЭКС-Р1», но в целом серийные решения в России практически отсутствуют и достаточных численных и экспериментальных исследований таких зданий в России не проводилось.

Потеря несущей способности элемента или здания в целом вплоть до разрушения, как показывает практика, чаще всего происходит именно в узловых соединениях, поэтому для обеспечения общей устойчивости и надежности любого здания большее значение имеет обеспечение прочности узловых соединений, обеспечивая при этом равнопрочность узлов с основными элементами каркаса. Для этого требуется проведение численных и экспериментальных исследований поведения узлового соединения.

Для проведения численных исследований часто применяют программные комплексы типа *Ansys*, для узлов популярностью пользуется *Idea Statica* [8, 9]. Но в связи с тем, что расчеты конструктивных систем зданий производят непосредственно в программных комплексах, основанных на МКЭ, такие как *SCAD*, *ЛИРА САПР*, *Лира Софт* и пр., целесообразно разработать методику

расчета узлов сопряжения холодногнутых профилей на «черных» фасонках для применения в данных комплексах [10, 11].

В частности, моделирование узла сопряжения элементов каркаса из холодногнутых профилей и плоских фасенок предлагается выполнять созданием «узловых фрагментов» с использованием стержневых конечных элементов (КЭ) для профилей и пластинчатых КЭ для фасенок, для обеспечения их совместной работы рекомендуется моделировать болтовые соединения использованием функции «объединение перемещений» и специально созданных дополнительных элементов прямоугольного сечения [12]. На рис. 5 представлен замоделированный таким образом узел соединения стоек и ригелей рамы здания. Аналогичным способом создания «узловых фрагментов» моделируются остальные узлы здания, например, базы. Далее такие «узловые фрагменты» вводятся в расчетную схему здания для каждого узла с черными фасонками и после этого выполняется расчет пространственной схемы здания. В ходе выполнения исследования был выполнен статический расчет пространственной схемы здания без фрагментов и с введением фрагментов в численную модель в соответствии с предложенной методикой, результаты получились различны, был проведен сравнительный анализ полученных результатов и сформированы предпосылки для дальнейших исследований.

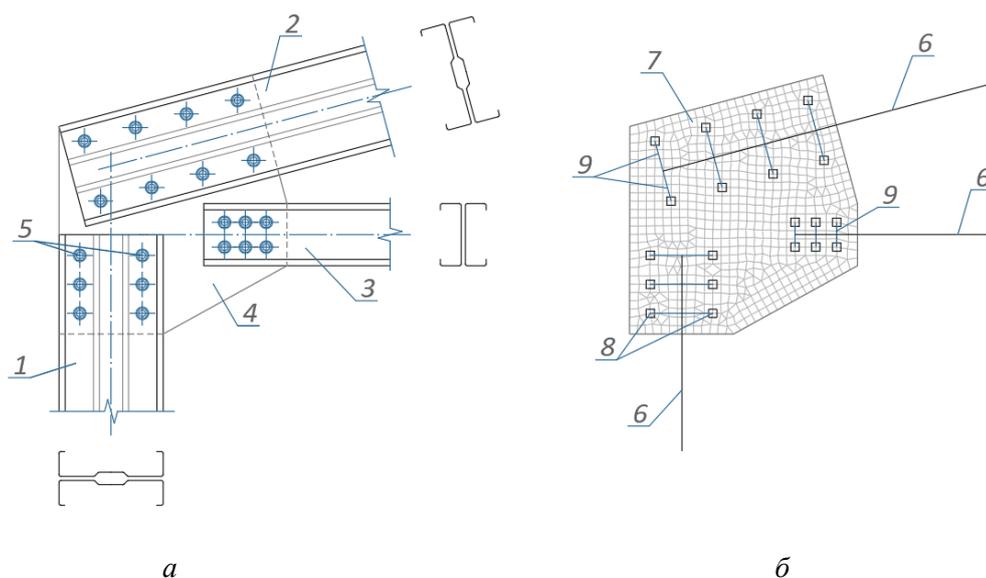


Рис. 5. Карнизный узел соединения элементов каркаса рамного здания: *а* – конструктивная схема, *б* – расчетная схема: 1 – стойка из спаренных Сигма-профилей; 2 – верхний пояс ригеля из спаренных Сигма-профилей; 3 – нижний пояс ригеля из спаренных С-профилей; 4 – фасонка из малоуглеродистой стали; 5 – болты; 6 – стержневой КЭ; 7 – пластинчатый КЭ; 8 – объединение перемещений в узлах; 9 – стержневой элемент прямоугольного сечения  $2t \times b$

### Заключение

В ходе выполнения работы авторами предложена методика моделирования узлов сопряжения элементов каркаса из холодногнутых профилей и плоских фасенок методом МКЭ, сформулирован термин «узловой фрагмент». Методика



требует дальнейшей апробации и проведения экспериментальных исследований для определения фактической работы узла.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьмина, Н. О. Сравнение вариантов конструктивного решения здания из ЛМК и ЛСТК / Н. О. Кузьмина. – Текст : непосредственный // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова / Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2016. – С. 2763–2766.

2. ГОСТ 27772-2021. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 ноября 2021 г. № 1658-ст : дата введения 2022-08-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200182001?ysclid=m24wgjxosz663762598>. – Текст : электронный.

3. ГОСТ 7798-70 Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры : утвержден и введен в действие Постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР от 04.03.70 № 270. – URL: [https://mmk-metiz.ru/buyers/product/gost/gost\\_7798-70-bolty.pdf?ysclid=m24wvhfsnt85616600](https://mmk-metiz.ru/buyers/product/gost/gost_7798-70-bolty.pdf?ysclid=m24wvhfsnt85616600). – Текст : электронный.

4. ГОСТ Р 52643-2006. Болты и гайки высокопрочные и шайбы для металлических конструкций. Общие технические условия : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2006 г. N 408-ст : дата введения 2008-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200051503?ysclid=m24x0a8ua046731179>. – Текст : электронный.

5. СП 260.1325800.2023. Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 28 декабря 2023 г. № 1015/пр : дата введения 29 января 2024 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1305115738?ysclid=m24x69lf1c940458652>. – Текст : электронный.

6. Назаров, Е. О. Влияние конструктивных решений узловых соединений на выбор типа металлического каркаса / Е. О. Назаров, Т. В. Назмеева, В. А. Рыбаков. – Текст : непосредственный // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : материалы Международной научно-практической конференции / редколлегия О. Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре, 2020. – С. 251–255.

7. Зверев, В. В. Влияние податливости болтовых соединений на деформативность фермы из тонкостенных гнутых профилей / В. В. Зверев, А. С. Семенов. – Текст : непосредственный // Строительство и архитектура. – 2008. – № 2. – С. 9–17.

8. Численный анализ вариантов фланцевых узлов ребристо-кольцевой купольной системы / И. В. Шкода, Б. Б. Лампси, Е. П. Исаева. – Текст: непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 2. – С. 58-66.

9. Анализ деформативно-прочностных характеристик монтажного узла ребристо-кольцевого купола из трубчатого профиля / П. А. Хазов, И. В. Шкода, Е. Н. Облетов, И. А. Самохвалов. – Текст: непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2020. – №3(55). – С. 28–34.

10. Кравченко Г. М. Исследование податливости узлового соединения ЛСТК



методом конечных элементов / Г. М. Кравченко, Д. С. Костенко // Молодой исследователь Дона. – Ростов-на-Дону, 2019. – № 3 (18). – С. 47–51.

11. Method for calculating the strength of massive structural elements in the general case of their stress-strain state (kinematic method) / O. G. Novoselov, L. S. Sabitov, K. E. Sibgatullin [et al.] // Construction Materials and Products. – 2023. – № 6 (3). – P. 5–17.

12. Руководство АРСС «Рамные несущие стальные конструкции из тонкостенных оцинкованных профилей для каркасов быстровозводимых зданий различного назначения. по проектированию». URL: <https://steel-development.ru/ru/for-designers/ntd-kategoriya/sto-arss/1858-ramnye-nesushiye-konstrukticii>

**NAZMEEVA Tatiana Vilsovna<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, expert of SCDA; BELY Valentin Anatolyevich<sup>1</sup>, academic degree candidate of sciences of theoretical mechanics and resistance of materials; KLYUEV Sergey Vasilyevich<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor of the chair of theoretical mechanics and resistance of materials, OSOLODKIN Artem Anatolyevich<sup>2</sup>, chief designer**

## JOINTS OF FRAME BUILDINGS MADE OF COLD-FORMED STEEL PROFILES

<sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov  
46, Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia. Tel.: +7 (921) 545-15-45;  
e-mail: naztv@mail.ru

<sup>2</sup>Project group «Our City»  
85, Pobedy Prospekt, Cherepovets, Vologda reg., 162600, Russia. Tel.: +7 (921) 546-82-68;  
e-mail: aa\_osolodkin@bk.ru

*Key words:* cold-formed profiles, frame buildings, node, finite element method.

---

*The features of nodal joints of frame buildings made of cold-bent steel profiles are described. The connection of cold-bent profiles is made on bolts using low-carbon steel plates to perceive the forces acting in the node. A correct numerical model of such nodes for use in calculation complexes is necessary to perform the calculation of the building itself correctly. The authors carried out an analysis of frame buildings made of cold-bent steel profiles and applied nodes, and proposed a method for modelling this type of node.*

---

## REFERENCES

1. Kuzmina N. O. Sravnenie variantov konstruktivnogo resheniya zdaniya iz LMK i LSTK [Comparison of options for a constructive solution of a building from LMC and LSTK] / Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V. G. Shukhova [Collection: International scientific and technical conference of young scientists of V.G. Shukhov BSTU] Belgorodskiy gos. tekhnol. un-t im. V. G. Shukhova. Belgorod. 2016. P. 2763–2766.

2. GOST 27772-2021 Prokat dlya stroitelnykh stalnykh konstruksiy [Rolled products for building steel structures]: mezhgosudar. standart : utverzh. i vved. v deystvie prikazom Federalnogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 30 noyabrya 2021 g. № 1658-st : data vved. 2022-08-01. Moscow: Standartinform, 2021 – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200182001?ysclid=m24wgjxosz663762598>.

3. GOST 7798-70 Bolty s shestigrannoy golovkoy klassa tochnosti V. Konstruktsiya i razmery [Hexagon head bolts of accuracy class B. Design and dimensions] utverzh. i vved. v deystvie postanovleniem Komiteta standartov, mer i izmeritelnykh priborov pri Sovete Ministrov SSSR ot 04.03.70 № 270. Moscow: Standartinform. – URL: <https://mmk->



metiz.ru/buyers/product/gost/gost\_7798-70-bolty.pdf?ysclid= m24wvhfsnt85616600.

4. GOST R 52643-2006 Bolty i gayki vysokoprochnye i shayby dlya metallicheskih konstruksiy [High-strength bolts and nuts and washers for metal structures]: national. standart Rossiyskoy Federatsii : utverzh. i vved. v deystvie Prikazom Federalnogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 27 dekabrya 2006 g. N 408-st : data vveden. 2008-01-01. Moscow: Standartinform. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200051503?ysclid=m24x0a8ua046731179>.

5. SP 260.1325800.2023 Konstruktsii stalnye tonkostennye iz kholodnognutnykh otsinkovannykh profiley i gofirovannykh listov [Thin-walled steel structures made of cold-rolled galvanized profiles and corrugated sheets] svod pravil : utverzhden prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 28 dekabrya 2023 g. № 1015/pr : data vved. 29 yanvarya 2024 g. Moscow: Standartinform, 2023 – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1305115738?ysclid=m24x69lf1c940458652>.

6. Nazarov E. O., Nazmeeva T. V., Rybakov V. A. Vliyanie konstruktivnykh resheniy uzlovykh soedineniy na vybor tipa metallicheskogo karkasa [The influence of structural solutions of nodal joints on the choice of the type of metal frame]. Regionalnye aspekty razvitiya nauki i obrazovaniya v oblasti arkhitektury, stroitelstva, zemleustroystva i kadastr v nachale III tysyacheletiya [Regional aspects of the development of science and education in the field of architecture, construction, land management and cadastre at the beginning of the III millennium] materialy mezhd. nauch.-praktich. konf.: otv. red. O. E. Sysoev. Komsomolsk-on-Amur. 2020. P. 251–255.

7. Zverev V. V., Semenov A. S. Vliyanie podatlivosti boltovykh soedineniy na deformativnost fermy iz tonkostennykh gnutnykh profiley [Influence of the ductility of bolted joints on the deformability of a truss made of thin-walled bent profiles] Stroitelstvo i arkhitektura [Construction and Architecture]. 2008. № 2. P. 9–17.

8. Shkoda I.V., Lampsi B. B., Isaeva E.P. Chislennyy analiz variantov flantsevykh uzlov rebristo-koltsevoy kupolnoy sistemy [Numerical analysis of variants of flange assemblies of a ribbed-ring dome system]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.- stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2022. № 2. P. 58–66.

9. Khazov P.A., Shkoda I.V., Obletov E.N., Samokhvalov I.A. Analiz deformativno-prochnostnykh kharakteristik montazhnogo uzla rebristo-koltsevogo kupola iz trubchastogo profilya [Analysis of deformation-strength characteristics of a sub-assembly of a ribbed-annular dome of a tubular profile]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.- stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2020, № 3(55). P. 28–34.

10. Kravchenko G. M., Kostenko D. S. Issledovanie podatlivosti uzlovogo soedineniya LSTK metodom konechnykh elementov [Investigation of the malleability of the LSTC nodal junction by the finite element method]. Molodoy issledovatel Dona [Young researcher of the Don]. № 3 (18). Rostov-on-Don. 2019. P. 47–51.

11. Novoselov O. G., Sabitov L. S., Sibgatullin K. E., Sibgatullin E. S., Klyuev A. S., Klyuev S. V., Shorstova E. S. Method for calculating the strength of massive structural elements in the general case of their stress-strain state (kinematic method). Construction Materials and Products. 2023. № 6(3). P. 5–17.

12. Rukovodstvo ARSS «Ramnye nesushchie stalnye konstruksii iz tonkostennykh otsinkovannykh profiley dlya karkasov bystrovozvodimykh zdaniy razlichnogo naznacheniya» [SCDA manual "Frame bearing steel structures made of cold-bent galvanized profiles for prefabricated buildings for various purposes"]. – URL: <https://steel-development.ru/ru/for-designers/ntd-kategoriya/sto-arss/1858-ramnye-nesushchiye-konstruksii>

© Т. В. Назмеева, В. А. Белый, С. В. Ключев, А. А. Осолодкин, 2024

Получено: 16.08.2024 г.