

Вопросы проектирования узлов рамных зданий из стальных холодногнутых профилей

В.А. Белый¹, Т.В. Назмеева¹, С.В. Клюев^{1,2}, В.Э. Горлов¹

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,

²Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы

Аннотация: Рассмотрены особенности расчета узловых соединений рамных зданий из стальных холодногнутых профилей. Соединение элементов рамных зданий из стальных холодногнутых профилей для восприятия действующих усилий производят на болтах с использованием фасонки из малоуглеродистой стали, сами профили изготавливаются из тонколистового оцинкованного проката. Но требования к толщине фасонки и конкретные значения толщины в зависимости от действующий усилий в нормативной документации отсутствуют, так как данные соединения малоизучены в России. Проведен расчет рамных зданий из стальных холодногнутых профилей и анализ узлов с болтовыми соединениями и предложена методика определения количества болтов в узлах по двум расчетным случаям в зависимости от толщины фасонки, показана необходимость внесения данных требований в нормативную документацию по тонкостенным конструкциям.

Ключевые слова: холодногнутый профиль, оцинкованный прокат, рамное здание, узел, одноболтовое соединение, фасонка, смятие, ферма, тонкостенные конструкции.

В настоящее время активно развивается строительство рамных зданий из стальных холодногнутых профилей для нужд малого и среднего бизнеса, в частности, складов, зданий сельско-хозяйственного назначения и ангаров, как в России, так и за рубежом [1,2]. Профили получают путем холодного профилирования тонколистового оцинкованного проката в прокатных станах. Толщина сечения профиля не более 4 мм, в связи с этим конструкции из таких холодногнутых профилей относят к тонкостенным конструкциям. Учитывая тонкостенность конструкций и действующие усилия в узлах, соединение элементов в таких зданиях, как правило, выполняют на болтах с использованием фасонки из углеродистой стали. Для профилей применяют прокат по ГОСТ 14918-2020 «Прокат листовой горячеоцинкованный», а фасонки изготавливают из стали по ГОСТ 27772-2021 «Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия».

Расчет тонкостенных конструкций и расчет болтового соединения регламентируются сводом правил СП 260.1325800.2023 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов» (далее – СП 260.1325800), но в данном документе требования к проектированию узлов отсутствуют, не приведены требования к проектированию фасонок, в частности требования к определению толщины фасонок. В литературе даны рекомендации по назначению толщины фасонок, но только в учебниках, табл. 5.3.1 [3] и табл. 6.4.1 [4].

В рамках настоящего исследования были проанализированы проблемы проектирования узлов рамных зданий из холодногнутых профилей и было проведено расчет узлов и анализ результатов расчета.

Для исследования в программе Tekla была создана модель здания пролетом 18 м, рис. 1, для элементов, включая фермы, были запроектированы болтовые соединения с фасонками [5]. Толщина элементов ферм составила 2,5 мм или 3 мм. Количество болтов было расставлено предварительно на основе типовых проектов. Для определения усилий и проверки сечений была создана пространственная расчетная схема в программе «Autodesk Robot Structural Analysis» и был произведен расчет [6]. По результатам расчета были получены усилия в элементах рамы, рис. 2 и рис. 3, была выполнена проверка сечений с учетом требований СП 260.1325800 с учетом редукции.

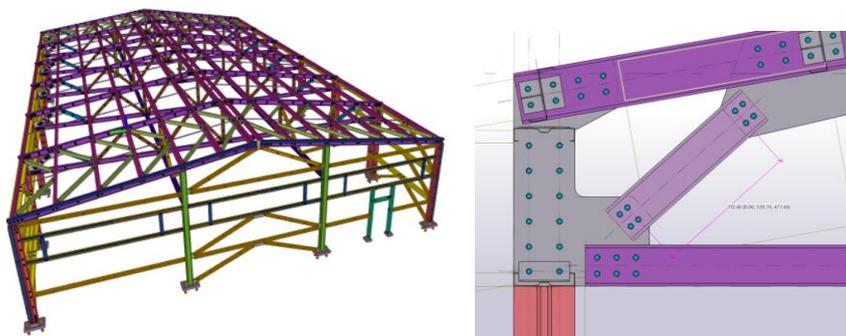


Рис. 1. - Схема рамного здания из стальных холодногнутых профилей (справа), узел соединения фермы со стойкой

При срезе:

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 120 \text{ кН}, \quad (1)$$

При смятии:

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot d_b \cdot \Sigma t \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 48,8 \text{ кН}, \quad (2)$$

При растяжении:

$$N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{bn} \cdot n_s \cdot \gamma_c = 63,7 \text{ кН}, \quad (3)$$

где $d_b = 16$ мм – наружный диаметр стержня болта; $A_{bn} = 1,57 \text{ см}^2$ – площадь сечения резьбовой части болта нетто; $A_b = 2,01 \text{ см}^2$ – площадь сечения стержня болта брутто; 8,8 – класс прочности болта; В, С – класс точности болта; $n_s = 2$ шт. – число расчётных срезов одного болта; $\Sigma t = 6$ мм – наименьшая суммарная толщина соединяемых элементов, снимаемых в одном направлении; $R_{un} = 420 \text{ Н/мм}^2$ – временное нормативное сопротивление стали соединяемых элементов; $R_{bs} = 332 \text{ Н/мм}^2$ – расчётное сопротивление срезу одноболтового соединения; $R_{bp} = 567 \text{ Н/мм}^2$ – расчётное сопротивление смятию одноболтового соединения; $R_{bt} = 451 \text{ Н/мм}^2$ – расчётное сопротивление растяжению одноболтового соединения; $\gamma_c = 0,9$ – коэффициент условий работы, определяемый по табл.1 СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции» (далее – СП 16.13330); $\gamma_b = 1$ – коэффициент условий работы болтового соединения, определяемый по табл.41 СП 16.13330.

Несущая способность одного болта на фасонке толщиной 6 мм, сталь фасонки С245:

При срезе:

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 120 \text{ кН}$$

При смятии:

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot d_b \cdot \Sigma t \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 41,9 \text{ кН}$$

При растяжении:

$$N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{bn} \cdot n_s \cdot \gamma_c = 63,7 \text{ кН},$$

где

$d_b = 16$ мм – наружный диаметр стержня болта; $A_{bn} = 1,57 \text{ см}^2$ – площадь сечения резьбовой части болта нетто; $A_b = 2,01 \text{ см}^2$ – площадь сечения стержня болта брутто; 8,8 – класс прочности болта; В, С – класс

точности болта; $n_s = 2$ шт. – число расчётных срезов одного болта; $\Sigma t = 6$ мм – наименьшая суммарная толщина соединяемых элементов, снимаемых в одном направлении; $R_{un} = 370$ Н/мм² – временное нормативное сопротивление стали соединяемых элементов; $R_{bs} = 332$ Н/мм² – расчётное сопротивление срезу одноболтового соединения; $R_{bp} = 485$ Н/мм² – расчётное сопротивление смятию одноболтового соединения; $R_{bt} = 451$ Н/мм² – расчётное сопротивление растяжению одноболтового соединения; $\gamma_c = 0,9$ – коэффициент условий работы; $\gamma_b = 1$ – коэффициент условий работы.

Результаты получились близкие, но тем не менее отклонение имеется при работе соединения на смятие. Далее аналогично для всех узлов фермы, рис. 4, выполняем расчет узлов. Результаты расчета сводим в таблицу 1.

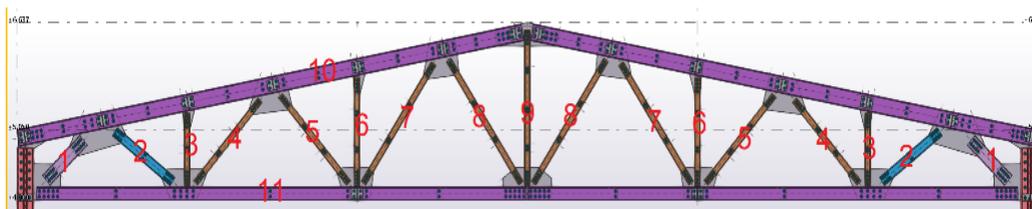


Рис. 4. - Схема фермы рамного здания из стальных холодногнутых профилей с нумерацией элементов

Таблица № 1

Результаты расчета узлов фермы

Элемент	Усилие, кН	Число болтов	Коэффициент использования (смятие фасонка)	Коэффициент использования (смятие профили)	Коэффициент использования (срез)
1	241	8	0,72	0,74	0,25
2	-130	6	0,52	0,74	0,18
3	29	4	0,17	0,30	0,06
4	71	4	0,42	0,73	0,15
5	60	4	0,36	0,61	0,13
6	64	4	0,38	0,66	0,13
7	59	4	0,35	0,60	0,12
8	40	4	0,24	0,41	0,08
9	-68	4	0,41	0,70	0,14
10	312	10	0,56	0,77	0,26
11	-291	10	0,52	0,60	0,24

Анализ результатов показывает, что коэффициент использования на смятие фасонки намного меньше, 0,41 против 0,7. Количество болтов будем назначать исходя из худшей ситуации. В итоге после расчета в узле соединения нижнего пояса фермы было поставлено 6 болтов, см рис.5, после расчета количество увеличилось до 10 штук. После расчета все узлы были откорректированы и количество болтов приведено в соответствие.

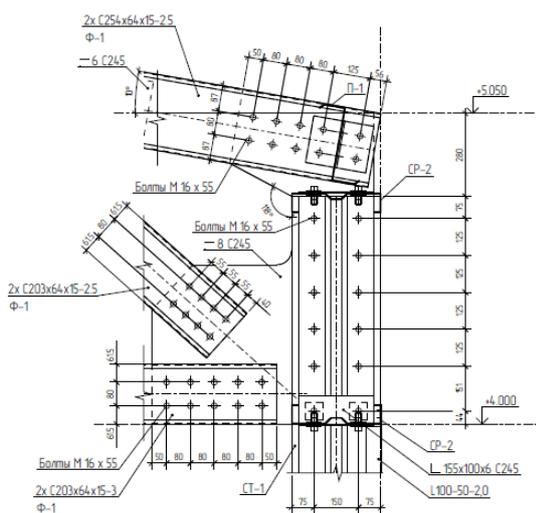


Рис. 5. - Узел фермы из холодногнутых профилей на болтах

Аналогичные расчеты были проведены еще для ряда зданий. Анализ результатов показал, что коэффициент использования на смятие у профиля выше. Таким образом, при проектировании узлов необходимо либо увеличивать количество и диаметр болтов, либо увеличивать толщину профилей и фасонки. Увеличение толщины профиля ограничено, так как для тонколистовой прокат для профилей изготавливается в толщине не более 3 мм, увеличение толщины фасонки приводит к увеличению металлоемкости здания. В исследуемом здании после расчета и корректировки всех узлов металлоемкость выросла до 37 кг/м². При увеличении количества и диаметра болтов необходимо следить за соблюдением требований по крайним расстояниям и расстоянию между болтами и расстоянию от центра тяжести соединения, так болтовые соединения обладают определенной податливостью [9, 10].

В ходе выполнения работы авторами предложена методика определения количества болтов в узлах рамных зданий из стальных холодногнутох профилей по двум расчетным случаям по фасонке и непосредственно по профилю. Результаты показали необходимость внесения данных требований в действующую нормативную документацию по тонкостенным конструкциям, в частности, в СП 260.1325800.

Литература

1. Zhou J., Ye Y. Cold-Formed Thin-Walled Steel in Rural Buildings in China // E3S Web of Conferences 439:01003, October 2023. doi:10.1051/e3sconf/202343901003
2. Zhuravov K.A., Rybakov V.A., Nazmeeva T. V. An overview analysis of the criteria for evaluating the efficiency and optimization of light gauge steel structures // AlfaBuild, 2021, 17 Article No 1702. doi: 10.34910/ALF.17.2
3. Туснин А.Р., Тихонов С.М., Алехин В.Н., Беляева З.В., Кудрявцев С.В., Рыбаков В.А., Назмеева Т.В., Пронин Д.Г., Комиссаров А.А. Проектирование металлических конструкций. Часть 1. Металлические конструкции. Материалы и основы проектирования. Издательство Перо, 2020. 468 с.
4. Астахов И.В., Гудков А.Н., Жидков К.Е., Зверев В.В., Каменщиков Н.И., Катранов И.Г., Кикоть А.А., Комиссаров А.А., Кузнецов А.Ю., Купцов Д.В., Назмеева Т.В., Нефедов Г.В., Полевая И.В., Пронин Д.Г. Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК). Проектирование, изготовление, монтаж. Издательство Перо, 2023. 412 с.
5. Fahmy A. S., Swelem S., Khalifa K. M. Experimental investigation on an innovative built-up cold-formed steel I-section connection // Alexandria Engineering Journal. September 2024. 107(21): pp. 698-710 doi: 10.1016/j.aej.2024.09.010

6. Ключев С.В., Лобов Д.М., Кожанов Д.А., Черкашина Н.И., Курбатов В.Л. Численное моделирование деревянных балок, усиленных композитным материалом на основе углеродного волокна // Инженерный вестник Дона, 2023, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8810.

7. Муселемов Х.М., Маилян Д.Р., Муселемов Д.У. Напряжённо-деформированное состояние трехслойной трубчатой конструкции при воздействии равномерно распределенной импульсной нагрузки // Инженерный вестник Дона, 2023, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8786

8. Никулин А.И., Коуркин С.В. Анализ расчетов прочности анкерных стержней и опорной пластины при однократном импульсном воздействии с учетом использования различных вычислительных комплексов // Инженерный вестник Дона, 2023, №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8680

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

10. 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). pp. 5 – 17.

References

1. Zhou J., Ye Y. E3S Web of Conferences 439:01003, October 2023. doi:10.1051/e3sconf/202343901003

2. Zhuravov K.A., Rybakov V.A., Nazmeeva T. V. An overview analysis of the criteria for evaluating the efficiency and optimization of light gauge steel structures; 2021, AlfaBuild; 17 Article No 1702. doi: 10.34910/ALF.17.2

3. Tusnin A.R., Tihonov S.M., Alekhin V.N., Belyaeva Z.V., Kudryavcev S.V., Rybakov V.A., Nazmeeva T.V., Pronin D.G., Komissarov A.A. Proektirovanie metallicheskih konstrukcij. Chast' 1. Metallicheskie konstrukcii. Materialy i osnovy proektirovaniya [Design of metal structures. Part 1. Metal structures. Materials and fundamentals of design]. Izdatel'stvo Pero. 2020. 468 p.
4. Astahov I.V., Gudkov A.N., Zhidkov K.E., Zverev V.V., Kamenshchikov N.I., Katranov I.G., Kikot' A.A., Komissarov A.A., Kuznecov A.Yu., Kupcov D.V., Nazmeeva T.V., Nefedov G.V., Plevaya I.V., Pronin D.G. Legkie stal'nye tonkostennye konstrukcii (LSTK). Proektirovanie, izgotovlenie, montazh [Lightweight thin-walled steel structures (LSTCS). Design, manufacture, installation]. Izdatel'stvo Pero, 2023. 412 p.
5. Fahmy A.S., Sherine Swelem S., Khalifa K. M. Alexandria Engineering Journal. 2024. 107(21): pp. 698-710. doi: 10.1016/j.aej.2024.09.010
6. Klyuev S.V., Lobov D.M., Kozhanov D.A., Cherkashina N.I., Kurbatov V.L. Inzhenernyj vestnik Dona , 2023, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8810.
7. Muselemov H.M., Mailyan D.R., Muselemov D.U. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8786
8. Nikulin A.I., Kourkin S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8680
9. Zverev V.V., Semenov A.S. Stroitel'stvo i arhitektura (Construction and architecture). 2008. № 2. pp. 9–17.
10. Novoselov O.G., Sabitov L.S., Sibgatullin K.E., Sibgatullin E.S., Klyuev A.S., Klyuev S.V., Shorstova E.S. Construction Materials and Products. 2023. 6. (3), pp. 5 – 17.

Дата поступления: 20.10.2024

Дата публикации: 9.12.2024