



УДК 624.94.014.2

Р. Г. ГАЙНЕТДИНОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры металлических конструкций и испытаний сооружений; **И. Р. САЛИМЗЯНОВ**, аспирант кафедры металлических конструкций и испытаний сооружений

РЕШЕТЧАТЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗ СТАЛЬНЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1.

Тел.: (937) 612-90-09; эл. почта: iskander706@mail.ru

Ключевые слова: холодногнутые профили; решетчатые конструкции; сечения; узловые решения; тонкостенные конструкции.

В статье произведен обзор существующих решений решетчатых конструкций, выполняемых из холодногнутых тонкостенных профилей, которые наиболее часто используются в современном строительстве и получили обширные изучения с проведением натурных испытаний. Выделяются два основных типа решетчатых конструкций по типу соединения элементов решетки и поясов: бесфасоночные и фасоночные. Проведен анализ их геометрических характеристик, области применения, узловых соединений раскосов и поясов, сечений основных элементов. Выделены особенности каждого типа решетчатых конструкций. Рассмотрены проведенные испытания решетчатых конструкций, выделены некоторые недостатки и сделаны выводы о возможных модификациях существующих решений. Определены актуальные направления развития решетчатых конструкций, а именно: применение составных профилей закрытого сечения для повышения жесткости элементов, разработка новых узловых решений для снижения металлоемкости, оценка эффективности фрикционных соединений.

Развитие строительной отрасли в настоящее время направлено на применение более технологичных материалов и конструкций, которые позволяют удовлетворять требованиям прочности, надежности, долговечности, при этом с минимальными материальными и временными затратами [1]. В связи с этим широкое распространение получают легкие строительные конструкции, выполненные из холодногнутых тонкостенных оцинкованных профилей [2–3]. Толщина элементов таких конструкций не превышает 4 мм и для обеспечения коррозионной стойкости элементы покрываются цинковым покрытием класса не ниже 275 [4–5]. Профили изготавливаются путем холодной гибки или холодного профилирования через валики, что позволяет получать сечения различной формы и размеров. Наиболее часто применяемые конструкции из тонкостенных оцинкованных профилей – фермы покрытий промышленных зданий, как вновь возводимых, так и подверженных реновации [6]. Фермы могут выполняться различной формы в зависимости от действующих нагрузок и других технических требований: треугольные, трапецеидальные, с параллельными поясами, полигональные, с криволинейными поясами, сегментные [7–8].

Фермы выполняют пролетами до 24 м с различной конфигурацией решетки [9–10]. Как правило, решетка фермы состоит из следующих элементов: верхнего пояса, нижнего пояса, вертикальных и наклонных раскосов. Соединение

элементов между собой производится при помощи болтов обычной прочности, вытяжных заклепок, самонарезающих и самосверлящих винтов [11].

По решению узловых соединений фермы подразделяются на два основных вида: бесфасоночные и фасоночные.

Рассмотрим существующие конструктивные решения ферм, сечения их элементов, узловые решения, имеющиеся недостатки и возможные пути их совершенствования.

В учебном пособии представлены наиболее распространенные конструктивные схемы ферм, выполняемые из холодногнутых профилей, которые отличаются узловыми решениями крепления раскосной решетки и поясов [12].

Один из типов ферм выполняется в бесфасоночном решении узлов (рис. 1), что дает экономию на собственном весе конструкции и упрощает сборку. Верхний и нижний пояс фермы выполняются из парных С-образных профилей, сечения которых подбираются по расчету. Раскосная часть аналогично может выполняться из парных или одиночных С-образных профилей. Узел соединения раскосов реализуется следующим образом: производится подрезка полок раскосов и заведение их между парными профилями поясов. Глубина заведения зависит от выбранного типа крепежа, их количества и конструктивного требования по их размещению.

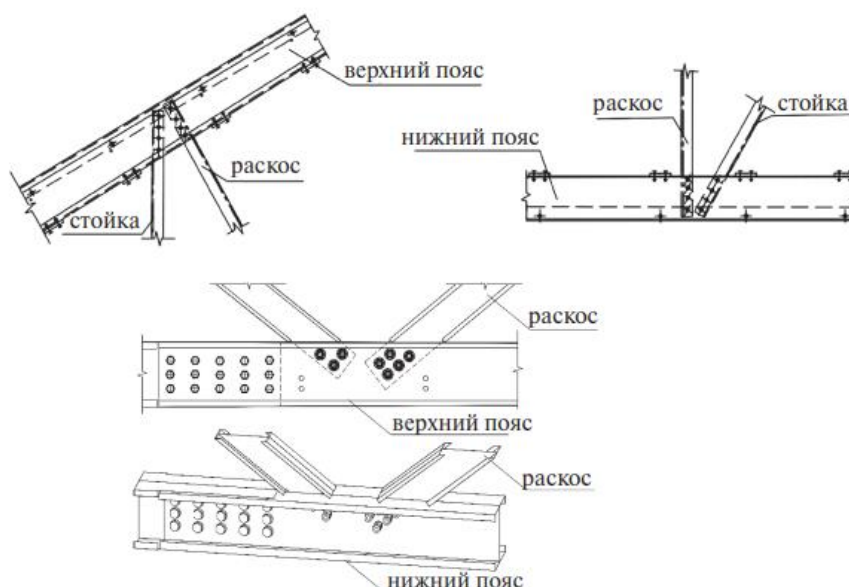


Рис. 1. Бесфасоночная ферма

Применение таких ферм возможно на относительно небольших пролетах (до 15 м) с соединением при помощи самонарезающих винтов или болтов. Несмотря на уменьшение собственного веса фермы за счет исключения дополнительных стальных листовых фасонок, необходимо учитывать в расчете раскосов уменьшение площади поперечного сечения A_{gn} за счет подрезки стенок, что потребует увеличения сечения всего раскоса и неполное использование сечения в местах, где не выполняется подрезка полок.

Ферма, выполняемая в бесфасоночном исполнении с раздвинутыми парными профилями, исключает недостатки предыдущей, связанные с необходимостью подрезки полок раскосов в узловых частях, при этом сохраняет преимущество в



виде отсутствия дополнительных стальных фасонных элементов, которые увеличивают собственный вес фермы [12]. Верхний и нижний пояс фермы состоит из спаренных П или С-образных профилей, которые разносятся друг от друга на величину фасонки. Раскосы заводятся между профилями поясов и соединяются при помощи болтов или самонарезающих винтов. Длина таких ферм ограничивается габаритами транспорта, длина которых не превышает 16 м. При больших усилиях в раскосах фермы возможно введение дополнительных отрезков профилей в местах стыка раскосов и поясов, что позволяет расположить большое количество крепежа. Также возможно введение дополнительных соединительных планок в поясах, которые позволяют обеспечить совместную работу двух профилей в пролетах, свободных от раскосов путем увеличения радиуса инерции.

Результаты испытания ферм [13] пролетом 6 м с усилением и без усиления показывают, что для всех испытанных ферм свойственна следующая последовательность разрушения:

1. Потеря местной устойчивости полок и стенок сжатых профилей;
2. Потеря общей устойчивости сжатых опорных раскосов и поясов.

Для определения устойчивости и несущей способности профилей при восприятии нагрузок применяются различные методы расчета: МКЭ, энергетический метод, метод эффективной ширины, метод прямого определения прочности и т. д. [14].

К недостаткам данных ферм можно отнести ограниченное пространство для установки метизов, что уменьшает величину перекрываемых пролетов и допустимых нагрузок. Также для обеспечения совместной работы парных элементов поясов требуется введение промежуточных элементов, что приводит к увеличению собственного веса фермы.

Ферма, пояса которой выполняются из парных элементов с креплением раскосной части через стальные фасонные элементы, лишена недостатков предыдущих типов ферм и позволяет перекрывать пролеты длиной от 18 м до 24 м. Элементы фермы представляют собой спаренные профили С и П-образного сечения, объединяемые через соединительные прокладки (фасонки) из черного металла.

Ферма выполняется из двух частей (полуферм) для удобства транспортировки к месту установки. Перед монтажом производится укрупнительная сборка и протяжка болтовых соединений. Верхний и нижний пояс каждой полуфермы выполняется по неразрезной схеме из спаренных профилей С-образного сечения. Между профилями поясов устанавливаются листовые стальные фасонки для крепления раскосов, которые выполняются из С или П-образных профилей. Размеры фасонки подбираются конструктивно, по требуемому количеству болтов в соединении. В ферме выделяются три основных узла: опорный узел, промежуточный узел, коньковый узел (рис. 2).

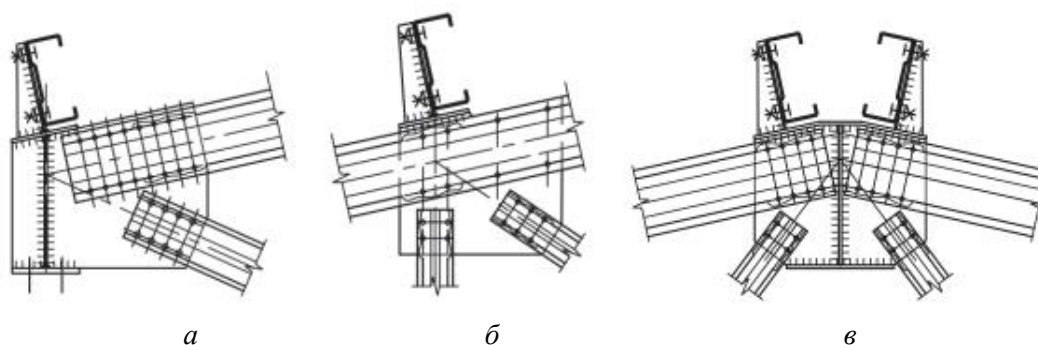


Рис. 2. Основные узлы фермы с применением стальной фасонки: *а* – опорный узел; *б* – промежуточный узел; *в* – коньковый узел

Испытания показывают, что фактическая несущая способность фермы соответствует теоретическим расчетам. Однако при первичном нагружении фермы появляется проскальзывание элементов болтового соединения, что приводит к резкому увеличению деформативности фермы, которая превышает теоретическое значение на 30 % [15]. Максимальные деформации наблюдались в верхнем сжатом поясе, который теряет устойчивость из плоскости действия усилия при недостаточном раскреплении. Также появляются деформации в верхнем поясе между раскосами, что обусловлено недостаточной жесткостью открытого спаренного сечения из тонкостенных элементов. Экспериментальные исследования сжатых С-образных элементов в программных комплексах демонстрируют идентичную форму потери местной устойчивости сжатых элементов, которая начинается с потери устойчивости и волнообразным искривлением полок профиля переходящая в потерю устойчивости в стенке, которая уже является критической [16–17]. Окончательное разрушение фермы произошло после потери устойчивости стенки профиля в опорной зоне.

Недостатками данной фермы являются недостаточная жесткость существующих сечений сжатых поясов и применение массивных стальных фасонных элементов, которые значительно увеличивают собственный вес конструкции [18].

Аналогичный вариант фермы пролетом 24 м с высотой в середине пролета 2,2 м имеет отличительные особенности: уменьшение расчетной длины сжатого пояса за счет введения дополнительных элементов раскосной части – стоек [19]. Применение Сигма-образных профилей, обладающих высокой местной устойчивостью стенки, положительно сказывается на общей устойчивости пояса по сравнению с поясом из С-образных профилей [20]. Элементы фермы выполняются из стали класса С350 [21]. Данные особенности позволяют увеличить несущую способность фермы.

Результаты испытания показали схожий результат с предыдущими исследованиями ферм, на первых стадиях нагружения просматривается повышенная деформативность фермы, связанная с податливостью болтовых соединений. С увеличением нагрузки при условии соблюдения требуемого раскрепления фермы из плоскости, происходит потеря местной устойчивости сжатых профилей.

Однако данный вид ферм также имеет недостаточную жесткость сжатого пояса, что обусловлено применением профилей открытого сечения, которым

свойственна местная потеря устойчивости и выключение из работы консольных полок [22]. В данном виде ферм по-прежнему остается необходимость применения массивных стальных фасонных элементов для крепления раскосной решетки, что приводит к увеличению металлоемкости.

Современные исследования в области решетчатых конструкций из тонкостенных стальных элементов направлены на оптимизацию существующих решений и разработку новых. Ферма, пояса и раскосы которой выполнены из парных раздвинутых элементов, позволяет увеличить жесткость элементов путем введения дополнительных тонкостенных скоб, которые обеспечивают совместную работу профилей и исключают локальную потерю устойчивости в полках [23]. Соединение раскосных элементов с поясами выполняется путем установки тонколистовых стальных фасонных элементов и метизов. Для массового применения данных ферм требуется численная и экспериментальная проработка зависимости шага и сечения устанавливаемых стальных скоб.

Актуальное исследование фасонных ферм с применением поясов из элементов с трапециевидной стенкой показывает необходимость использования узловых решений с равномерным распределением болтов по сечению, что позволит достичь равномерного распределения напряжений по тонкостенному профилю и уменьшение размера стального фасонного элемента [24–25]. Также возможно применение высокопрочных болтовых соединений в аналогичных решетчатых конструкциях с фасонными элементами. Существующие исследования показывают значительное увеличение несущей способности узловых соединений из холодногнутых профилей с применением высокопрочных болтов [26]. Однако требуются дополнительные исследования по поведению фрикционных соединений в составе решетчатых конструкций.

Широкое применение ферм из холодногнутых профилей ведется за рубежом, где так же стремятся достичь минимального собственного веса за счет применения специальных узловых соединений и сечений элементов.

Ферма с поясами и раскосами из *U*-образных профилей с соединением элементов при помощи стальных болтов и нейлоновых толстостенных втулок, для исключения деформаций профиля при затягивании болтов [27]. Для заведения раскосов в полость поясов выполняется подрезка консольных элементов жесткости полок, что приводит к потере местной устойчивости раскосов в данной зоне.

Решением проблемы устойчивости сжатых поясов фермы начали заниматься за рубежом [28]. Фермы выполняются небольшого пролета до 10 м и необходимы для применения в качестве элементов перекрытий и покрытий зданий. Сжатый пояс фермы выполняется из спаренных профилей *U*-образного и *C*-образного сечения, которые образуют составное закрытое сечение (рис. 3), раскосы и нижний пояс фермы – из одиночных профилей *C*-образного сечения.

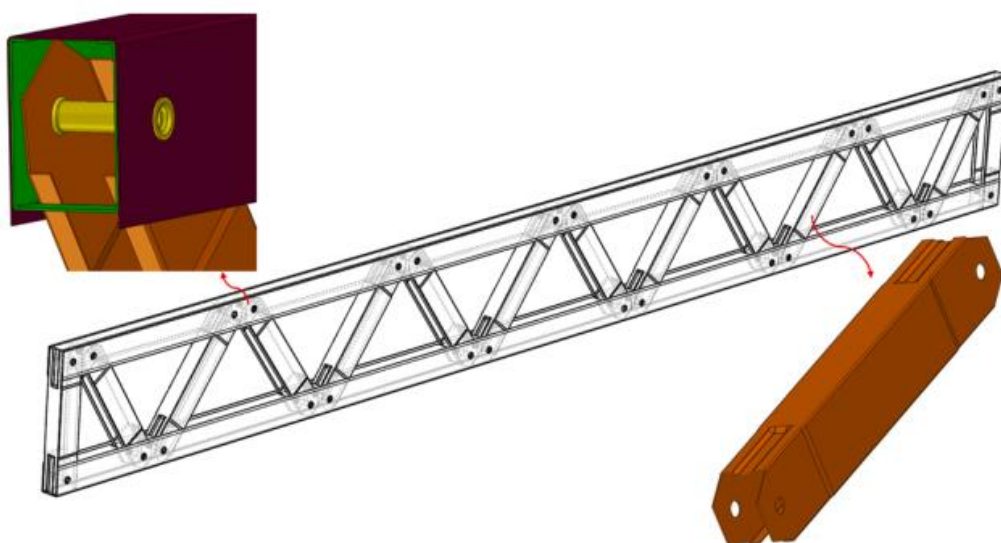


Рис. 3. Ферма с закрытым составным сечением верхнего пояса

Результаты испытания сжатых профилей закрытого составного сечения показывают значительное увеличение жесткости, а теоретическое исследование по применению таких профилей в качестве верхнего пояса фермы показывает значительное повышение несущей способности [29].

Результат проведенного анализа существующих решений и натурных испытаний решетчатых конструкций из холодногнутых профилей показывает существование следующих недостатков:

1. Недостаточная общая и местная устойчивость сжатых профилей, требующая усовершенствование их поперечного сечения;
2. Увеличение металлоемкости за счет включения дополнительных массивных стальных элементов (фасонки) для крепления элементов решетки между собой;
3. Повышенная деформативность ферм с применением болтовых соединений обычной прочности на первых этапах загрузки за счет податливости.

Для более эффективного использования решетчатых конструкций из холодногнутых профилей необходима разработка новых решений, позволяющих нивелировать существующие недостатки [30]. Одним из способов решения существующих проблем является применение профилей закрытого сечения, которые обладают повышенной жесткостью. Необходима разработка, исследование и испытание новых узловых решений, которые бы позволили отказаться от применения дополнительных стальных фасонных элементов. Также требуются исследования по оценке эффективности применения фрикционных соединений в составе решетчатых конструкций.

Вклад авторов: все сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гайнетдинов, Р. Г. Стальные полигональные арочные конструкции из унифицированных элементов / Р. Г. Гайнетдинов, Л. Р. Гимранов, М. Т. Сибгатуллин //



- Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – № 4 (66). – С. 25–32. – DOI 10.52409/20731523_2023_4_25. – EDN ATUWIT.
2. Recent research on built-up cold-formed steel structures / Kim J. R. Rasmussen, Mani Khezri, Hao Zhang [et al.] // *Thin-Walled Structures*. – October 2025. – Vol. 215, Part B.
3. Гайнетдинов, Р. Г. Конструкции из тонколистовых стальных материалов / Р. Г. Гайнетдинов, Л. Р. Гимранов. – Казань : Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. – 224 с. – ISBN 978-5-7829-0612-2. – EDN AOOSZS.
4. Якупов, С. Н. Коррозия тонкостенного элемента конструкций в водной среде при вибрации / С. Н. Якупов, И. Т. Мирсаяпов // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2025. – № 3 (73). – С. 270–278. – DOI 10.48612/NewsKSUAE/73.22. – EDN UESDVU.
5. СП 260.1325800.2023. Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования : свод правил : издание официальное : утвержден приказом Минстроя России от 28.12.2023 N 1015/пр) : дата введения 29 января 2024 г. – Москва, 2023. – 124 с.
6. Рачкова, О. Г. Реновация промышленных зданий и сооружений / О. Г. Рачкова, С. С. Сердаров // *Архитектура. Реставрация. Дизайн. Урбанистика*. – 2025. – № 2 (6). – С. 270–282.
7. Способ изготовления полигональной металлической фермы / Г. Н. Шмелев, П. В. Еремеев, А. А. Галиев [и др.] // *Строительные конструкции, здания и сооружения*. – 2025. – № 1 (10). – С. 16–21.
8. Шмелев, Г. Н. Способ изготовления металлических ферм с криволинейным нижним и прямолинейным верхним поясами / Г. Н. Шмелев, П. В. Еремеев, З. З. Файзуллина // *Строительные конструкции, здания и сооружения*. – 2024. – № 4 (9). – С. 40–45.
9. Семенов, А. С. Ферма из холодногнутых профилей повышенной жесткости с болтовыми соединениями : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Семенов Александр Сергеевич ; Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – Липецк, 2009. – 183 с.
10. Буторов, И. П. Конструктивные схемы поперечных рам каркасов из легких стальных тонкостенных конструкций / И. П. Буторов, А. В. Михальчишин. // *Colloquium-journal*. – Польша, 2019. – № 13-3 (37). – С. 18–23.
11. Катранов, И. Г. Несущая способность винтовых и заклепочных соединений стальных тонкостенных конструкций : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Катранов Иван Георгиевич ; Московский государственный строительный университет. – Москва, 2011. – 202 с.
12. Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК). Проектирование, изготовление, монтаж : учебное пособие для ВУЗов / Астахов И. В., Гудков А. Н., Жидков К. Е. [и др.] ; под общей редакцией Зверева В. В. – Москва : Перо, 2023–412 с. : ил.
13. Опытные исследования стальных ферм из тонкостенных холодногнутых профилей на самонарезающих винтах / А. И. Колесов, А. А. Лапшин, И. А. Ямбаев [и др.] // *Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*. – Нижний Новгород, 2013. – № 4 (28). – С. 15–19.
14. Каюмов, Р. А. Об одном варианте энергетического метода решения задачи устойчивости балок / Р. А. Каюмов, Л. Р. Хайруллин, Р. Ф. Гилязитдинов // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2024. – № 2 (68). – С. 105–113. – DOI 10.48612/NewsKSUAE/68.9. – EDN IASXFJ.
15. Зверев, В. В. Влияние податливости болтовых соединений на деформативность фермы из тонкостенных гнутых профилей / В. В. Зверев, А. С. Семенов // *Научный*



вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – № 2 (10). – С. 9–17.

16. Кикоть, А. А. Анализ форм потери устойчивости стального стержня из тонкостенного холодногнутого профиля / А. А. Кикоть, К. А. Красулина // Ползуновский альманах. – 2022. – № 1. – С. 81–83.

17. Красулина, К. А. Расчет ферм из стальных тонкостенных холодногнутых профилей / К. А. Красулина // Наука и молодежь : материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Барнаул, 15–19 апреля 2024 года. – Барнаул : Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2024. – С. 71–74. – EDN YNXSOS.

18. Huy Hoang Vu. Local buckling coefficients for thin-walled lipped channels under bending about asymmetrical axis / Huy Hoang Vu, Quoc Anh Vu, Cao Hung Pham // Results in Engineering. – 2025. – Vol. 26.

19. Кузнецов, И. Л. Стенд и результаты испытания фермы пролетом 24 м со стержнями из оцинкованных холодногнутых профилей / И. Л. Кузнецов, М. А. Салахутдинов, Р. Г. Гайнетдинов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – № 4 (46). – С. 193–199. – EDN YTDWRV.

20. Кикоть, А. А. Эффективность спаренных С и Сигма-образных стальных холодногнутых профилей в центрально сжатых стержневых элементах / А. А. Кикоть, К. А. Красулина // Ползуновский альманах. – 2021. – № 1. – С. 62–64. – EDN NBYUUS.

21. Исабаева, К. Б. Кыргыз Республикасынын уюмдарындагы жамааттык маданияттын калыптанышы / К. Б. Исабаева, З. К. Самайбекова, И. Х. Курбанова // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. – 2022. – № 2-3 (76). – Р. 1144–1148. – DOI 10.35803/1694-5298.2022.2.1144-1148. – EDN YUABKQ.

22. Annision, R. A mechanics-based design approach to local buckling of thin-walled cross-sections / R. Annision, J. Becque // International Journal of Solids and Structures. – 2025. – Vol. 319.

23. Черных-Рашевский, И. А. Оценка несущей способности 12-метровой фермы из легких стальных тонкостенных профилей / И. А. Черных-Рашевский // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. – 2022. – № 2-1 (76). – С. 476–483. – DOI 10.35803/1694-5298.2022.2.476-483. – EDN WIURRT.

24. Кузнецов, И. Л. Новое узловое соединение холодногнутых профилей с трапециевидной стенкой / И. Л. Кузнецов, Р. Г. Гайнетдинов // Приволжский научный журнал. Строительные конструкции, здания и сооружения / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 1. С. 24–33.

25. Гайнетдинов, Р. Г. Действительная работа болтовых соединений тонкостенных оцинкованных профилей с трапециевидной частью стенки в элементах ферм : специальность 2.1.1 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гайнетдинов Ришат Габдулхаевич ; Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань, 2023. – 20 с.

26. Тарасов, А. В. Экспериментально-теоретические исследования рамных конструкций из стальных тонкостенных холодногнутых профилей : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тарасов Алексей Владимирович ; Томский государственный архитектурно-строительный университет. – Томск, 2013. – 200 с.

27. Experimental study of LSF truss floor-ceiling systems made of top hat sections / Gihan Ranasinghe, Son Tung Vy, Mahen Mahendran, Anthony Ariyanayagam // Thin-Walled Structures. – July 2025. – Vol. 212.



28. Structural behavior of cold-formed steel trusses incorporating built-up section chords / Wei Wang, Krishanu Roy, Hooman Rezaeian, James B. P. Lim // Thin-Walled Structures. – January 2026. – Vol. 218, Part B.

29. Compressive behavior of a novel cold-formed steel built-up box section: Tests, modelling and design / Wei Wang, Krishanu Roy, Hooman Rezaeian [et al] // Thin-Walled Structures. – May 2025. – Vol. 210.

30. Robert S. Glauz. Enhancements to the Direct Strength Method of cold-formed steel member design / Robert S. Glauz // Thin-Walled Structures. – February 2023. – Vol. 183.

GAYNETDINOV Rishat Gabdulkhayevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of metal structures and testing of structures; SALIMZYANOV Iskander Radikovich, postgraduate student of the chair of metal structures and testing of structures

LATTICE STRUCTURES MADE OF COLD-FORMED STEEL SECTIONS

Kazan State University of Architecture and Engineering.
1, Green St., Kazan, 420043, Republic of Tatarstan, Russia.
Tel.: (937) 612-90-09; e-mail: iskander706@mail.ru

Key words: cold-formed sections; lattice structures; sections; nodal solutions; thin-walled structures.

This article provides an overview of existing lattice structure solutions made from cold-formed thin-walled sections, which are most commonly used in modern construction and have been extensively studied, including full-scale testing. Two main types of lattice structures are distinguished based on the connection method between lattice elements and chords: non-customized and cusp-type. An analysis of their geometric characteristics, areas of application, nodal connections between diagonals and chords, and cross-sections of the main elements is provided. The specific features of each type of lattice structure are highlighted. Tests of lattice structures are reviewed, some shortcomings are highlighted, and conclusions are drawn regarding possible modifications to existing solutions. Current development trends in lattice structures are identified, namely, the use of closed-section composite sections to increase element rigidity, the development of new nodal solutions to reduce metal consumption, and an assessment of the effectiveness of friction joints.

REFERENCES

1. Gaynetdinov R. G., Gimranov L. R., Sibgatullin M. T. Stalnyye poligonalnyye arochnyye konstruksii iz unifitsirovannykh elementov [Steel polygonal arched structures from standardized elements]. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering]. 2023, № 4 (66), P. 25–32. DOI 10.52409/20731523_2023_4_25. EDN ATUWIT.

2. Kim J. R. Rasmussen, Mani Khezri, Hao Zhang, Benjamin W, Schafer. Recent research on built-up cold-formed steel structures. Thin-Walled Structures. October 2025, Vol. 215, Part B.

3. Gaynetdinov R. G. Konstruksii iz tonkolistovykh stalnykh materialov [Structures from thin-sheet steel materials]: monografiya. Kazanskiy gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Kazan, KGASU, 2024, 224 p. SBN 978-5-7829-0612-2. – EDN AOOSZS.

4. Yakupov S. N., Mirsayapov I. T. Korroziya tonkostennogo elementa konstruksiy v vodnoy srede pri vibratsii [Corrosion of a thin-walled structural element in an aquatic environment under vibration] Izvestiya KGASU [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering]. 2025, № 3 (73), P. 270–278. DOI: 10.48612/NewsKSUAЕ/73.22, EDN: UESDVU.



5. SP 260.1325800.2023. Konstruktsii stalnyye tonkostennyye iz kholodnognutykh otsinkovannykh profiley i gofirovannykh listov. Pravila proyektirovaniya [Thin-walled steel structures made of cold-formed galvanized sections and corrugated sheets]. Svod pravil: izdaniye ofitsialnoye: data vved. 29.01.24. Minstroy Rossii. Moscow, 2023, 124 p.
6. Rachkova O. G., Serdarov S. S. Renovatsiya promyshlennykh zdaniy i sooruzheniy [Renovation of industrial buildings and structures] Arkhitektura. Restavratsiya. Dizayn. Uristikaban [Architecture. Restoration. Design. Urban science], 2025, 2 (6), P. 270–282.
7. Shmelev G. N., Yeremeyev P. V., Galiyev A. A., Ivanova A. A., Fayzullina Z. Z., Agafonov. B. V. Spособ izgotovleniya poligonalnoy metallicheskoй фермы [Method of manufacturing a polygonal metal truss] Stroitelnyye konstruktsii, zdaniya i sooruzheniya [Building structures, buildings and structures], 2025, № 1 (10), P. 16–21.
8. Shmelev G. N., Yeremeyev P. V., Fayzullina Z. Z. Spособ izgotovleniya metallicheskiх ферм s krivolineynym nizhnim i pryamolineynym verkhnim poyasami [Method for manufacturing metal trusses with a curvilinear lower and rectilinear upper chords]. Stroitelnyye konstruktsii, zdaniya i sooruzheniya [Building structures, buildings and structures], 2024, № 4 (9), P. 40–45.
9. Semenov A. S. Ferma iz kholodnognutykh profiley povyshennoy zhestkosti s boltovymi soyedineniyami [Truss from cold-formed sections of increased rigidity with bolted connections]: spetsialnost 05.23.01 : diss. ... kand. tekhn. Nauk; Voronezh. gos. arkhitektur.-stroit. Un-t. Lipetsk, 2009, 183 p.
10. Butorov I. P., Mikhalechishin A. V. Konstruktivnyye skhemy poperechnykh ram karkasov iz legkiх stal'nykh tonkostennykh konstruktsiy [Structural schemes of transverse frames of frameworks made of light steel thin-walled structures]. Colloquium-journal. Poland, 2019, № 13-3 (37), P. 18–23.
11. Katranov I. G. Nesushchaya sposobnost vintovykh i zaklepochnykh soyedineniy stalnykh tonkostennykh konstruktsiy [Bearing capacity of screw and riveted joints of thin-walled steel structures] : spetsialnost 05.23.01 : diss. ... kand. tekhn. nauk ; Moskov. gos. stroit. un-t. Moscow, 2011, 202 p.
12. Astakhov I. V., Gudkov A. N., Zhidkov K. E. [et al.] Legkiye stalnyye tonkostennyye konstruktsii (LSTK). Proyektirovaniye, izgotovleniye, montazh [Lightweight thin-walled steel structures (LSTC). Design, manufacturing, installation]. Uchebnoye posobiye dlya vuzov. Moscow, Pero, 2023, 412 p., ill.
13. Kolesov A. I., Lapshin A. A., Yambaev I. A., Morozov D. A. Opytnyye issledovaniya stalnykh ferm iz tonkostennykh kholodnognutykh profiley na samonarezayushchikh vintakh [Experimental studies of steel trusses made of thin-walled cold-formed sections on self-tapping screws]. Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal], 2013, 4 (28), P. 15–19.
14. Kayumov R. A., Khayrullin L. R., Gilyazitdinov R. F. Ob odnom variante energeticheskogo metoda resheniya zadachi ustoychivosti balok [On one version of the energy method for solving the problem of beam stability]. Izvestiya KGASU [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering]. 2024, № 2 (68), P. 105–113. DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.9, EDN: IASXFJ.
15. Zverev V. V., Semenov A. S. Vliyaniye podatlivosti boltovykh soyedineniy na deformativnost fermy iz tonkostennykh gnutykh profiley [Influence of bolted joint flexibility on the deformability of a truss made of thin-walled bent sections]. Nauchnyy vestnik Voronezh. gos. arkhitektur.-stroit. un-ta. Stroitelstvo i arkhitektura [Russian Journal of Building Construction and Architecture]. 2008, № 2 (10), P. 9–17.
16. Kikot A. A., Krasulina K. A. Analiz form poteri ustoychivosti stalnogo sterzhnya iz tonkostennogo kholodnognutogo profilya [Analysis of the buckling modes of a steel rod made of thin-walled cold-formed profile]. Polzunovskiy almanakh, 2022, № 1, P. 81–83.
17. Krasulina, K. A. Raschot ferm iz stalnykh tonkostennykh kholodnognutykh profiley [Calculation of trusses from steel thin-walled cold-formed sections]. Nauka i molodezh [Science and youth]: Materialy XXI Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. April 15–19, 2024, Barnaul, Altay. gos. tekhnich. un-t im. I. I. Polzunov, 2024, P. 71–74. EDN YNXSOS.

18. Huy Hoang Vu, Quoc Anh Vu, Cao Hung Pham. Local buckling coefficients for thin-walled lipped channels under bending about asymmetrical axis. *Results in Engineering*. 2025. Vol. 26.
19. Kuznetsov I. L., Salakhutdinov M. A., Gainetdinov R. G. Stend i rezultaty ispytaniya fermy proletom 24 m so sterzhnyami iz otsinkovannykh kholodnognutykh profiley [Rig and test results of a 24-meter span truss with rods made of galvanized cold-formed sections]. *Izvestiya Kazan. gos. arkhitektur.-stroit. un-ta* [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering]. 2018, № 4 (46), P. 193–199. EDN YTDWRV.
20. Kikotv A. A., Krasulina K. A. Effektivnost sparennykh S i Sigma-obraznykh stalnykh kholodnognutykh profileyv tsentralno szhatykh sterzhnevnykh elementakh [Efficiency of paired c- and sigma-shaped cold-formed steel sections in centrally compressed rod elements]. *Polzunovskiy almanakh*, 2021, № 1, P. 62–64. EDN NBYUUS.
21. Isabaeva K. B., Samaybekova Z. K., Kurbanova I. Kh. Kyrgyz Republicsynyn yumdaryndagy jamaattyk madaniyattyn kalyptanyshi [The formation of public culture in the villages of the Kyrgyz Republic]. *Vestnik Kyrgyz. gos. un-ta stroit., transp.i arkhitektur. im. N. Isanova*. 2022, № 2-3 (76), P. 1144–1148. DOI 10.35803/1694–5298.2022.2.1144–1148. EDN YUABKQ.
22. Annision R., Becque J. A mechanics-based design approach to local buckling of thin-walled cross-sections. *International Journal of Solids and Structures*. 2025, Vol. 319.
23. Chernykh-Rashevsky I. A. Otsenka nesushchey sposobnosti 12-metrovoy fermy iz legkikh stalnykh tonkostennykh profiley [Assessment of the bearing capacity of a 12-meter truss made of light steel thin-walled sections]. *Vestnik Kyrgyz. gos. un-ta stroit., transp. i arkhitektur. im. N. Isanova*. 2022, № 2-1 (76), P. 476–483. DOI 10.35803/ 1694-5298.2022.2.476-483. EDN WIURRT.
24. Kuznetsov I. L., Gainetdinov R. G. Novoye uzlovoye soyedineniye kholodnognutykh profiley s trapetsiyevidnoy stenкой [New nodal connection of cold-formed sections with a trapezoidal wall]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhny Novgorod, 2021. № 1, P. 24–33.
25. Gaynetdinov R. G. Deystvitelnaya rabota boltovykh soyedineniy tonkostennykh otsinkovannykh profiley s trapetsiyevidnoy chast'yu stenki v elementakh ferm [Actual performance of bolted connections of thin-walled galvanized sections with a trapezoidal part of the web in truss elements]: spetsialnost 2.1.1 : avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk: Kazan. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Kazan, 2023, 20 p.
26. Tarasov A. V. Eksperimentalno-teoreticheskiye issledovaniya ramnykh konstruktsiy iz stal'nykh tonkostennykh kholodnognutykh profiley [Experimental and theoretical studies of frame structures made of cold-formed steel thin-walled sections] : spetsialnost 05.23.01 : diss. ... kand. tekhn. nauk ; Tomsk. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Tomsk, 2013, 200 p.
27. Gihan Ranasinghe, Son Tung Vy, Mahen Mahendran, Anthony Ariyanayagam Experimental study of LSF truss floor-ceiling systems made of top hat sections. *Thin-Walled Structures*. July 2025, Vol. 212.
28. Wei Wang, Krishanu Roy, Hooman Rezaeian, James B. P. Lim. Structural behavior of cold-formed steel trusses incorporating built-up section chords. *Thin-Walled Structures*. January 2026, Vol. 218, Part B.
29. Wei Wang, Krishanu Roy, Hooman Rezaeian, Kang Huang, Shubham Tiwari, James B. P. Lim. Compressive behavior of a novel cold-formed steel built-up box section: Tests, modelling and design. *Thin-Walled Structures*. May 2025, Vol. 210.
30. Robert S. Glauz Enhancements to the Direct Strength Method of cold-formed steel member design. *Thin-Walled Structures*. February 2023, Vol. 183.

© Р. Г. Гайнетдинов, И. Р. Салимзянов, 2026

Получено: 28.01.2026 г.