

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Подкопаев А.Ю.

Оренбургский государственный университет

В настоящее время конструкции покрытий из тонкостенных профилей пользуются большой популярностью при строительстве зданий общественного и промышленного назначения. Причинами такой популярности являются их надежность, легкость по сравнению с железобетонными конструкциями, эстетичность, технологичность и удобство эксплуатации.

Очевидно, что при разработке проектов различных металлических конструкций проектировщики стремятся максимально учесть пожелания заказчиков и возможности региональной базы металлопроката, а также снизить трудоемкость изготовления и монтажа. Все это приводит к тому, что принятые конструктивные решения довольно часто отличаются от рекомендаций действующих серий и проектов-аналогов.

Применительно к покрытиям со стропильными фермами из гнутосварных профилей эти отличия чаще всего касаются конструкций прогонов и узлов их опирания на верхние пояса ферм. Изначально фермы из гнутосварных профилей (ГСП) предполагалось применять только в беспрогонных покрытиях отапливаемых зданий с непосредственным прикреплением несущего профилированного настила к верхним поясам. Это конструктивное решение разработано в серии 1.460.3-14 «Стальные конструкции покрытий пролетами 18, 24 и 30 метров с применением замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения типа «Молодечно». Именно для такой схемы загрузки стропильных ферм равномерно-распределенной нагрузкой и приведены рекомендации по расчету их узлов в Пособии по проектированию стальных конструкций к СНиП II-23-81 и в приложении Л СП 16.13330.2011.

Первым официальным документом, регламентирующим применение ферм из ГСП для прогонных покрытий на территории Российской Федерации, стала серия 1.460.3-23.98 [1]. В этой серии прогоны из гнутых С-образных профилей опираются на верхние пояса ферм через стальные пластины толщиной 6 мм и закрепляются на ней с помощью коротышей из прокатных уголков (рисунок 1).

В практике реального проектирования часто отклоняются от предлагаемого варианта конструктивного решения: используют прогоны с сечениями, отличными от рекомендуемых серий 1.460.3-23.98 [1], вместо прогонов из гнутых С-образных профилей применяют прогоны из прокатных швеллеров, прогоны устанавливают без опорных пластин и крепление прогонов к фермам осуществляют на болтах через упорные элементы из коротышей прокатных уголков. Такие отклонения от рекомендаций, безусловно, изменяют напряжен-

но-деформированное состояние узлов стропильных конструкций и требуют обоснования расчетом.

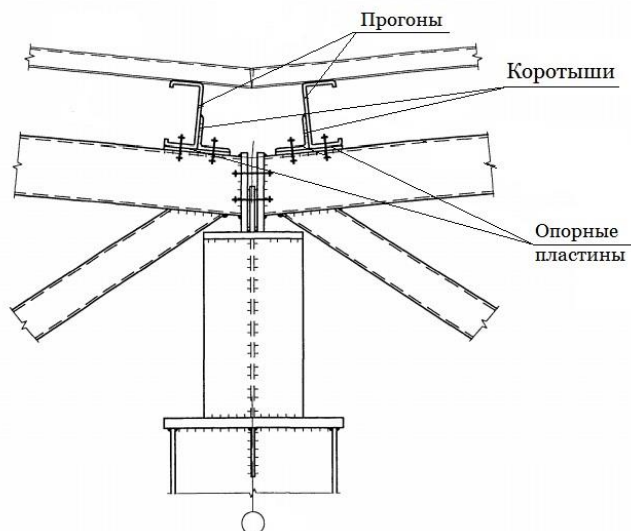


Рисунок 1 – Конструкция узла опирания стальных прогонов на верхний пояс ферм по серии 1.460.3-23.98 [1]

Результаты исследования влияния изменений, вносимых в конструкцию узла опирания прогонов, на напряженно-деформированное состояние стенок квадратной трубы верхнего пояса стропильной фермы из ГСП изложены в работе [2]. Автор с помощью программного комплекса APM Structure 3D сконструировал из объемных конечных элементов модели двух вариантов узлов: узла опирания С-образного прогона на верхний пояс через опорную пластину (рекомендация серии 1.460.3-23.98) и вариант аналогичного узла с заменой прогона из С-образного профиля на прокатный швеллер со сходными геометрическими характеристиками. Результаты расчетов показали, что второй вариант узла с прогоном из прокатного швеллера практически соответствует варианту, рекомендованному серией, по характеру распределения напряжений в стенках верхнего пояса, и в то же время, приводит к снижению их концентрации в зоне расположения нижних полок прогонов.

Еще одной проблемой при проектировании ферм с элементами из гнутосварных профилей является выбор конструктивного решения узлов сопряжения элементов решетки с поясами фермы, максимально снижающего концентрацию напряжений. В классических вариантах решений таких узлов для треугольной решетки раскосы присоединяются контурными угловыми швами к горизонтальным стенкам прямоугольных или квадратных труб поясов. Такое конструктивное решение узлов создает высокий уровень концентрации напряжений в стенках ГСП поясов из-за их повышенной деформативности и наличия сварных швов, особенно при существенной разнице в размерах сечений раскосов и поясов. Один из альтернативных вариантов конструкции узла сопряжения раскосов с поясами ферм из ГСП приведен в работе [3]. Автор предлагает вы-

полнять узловые соединения установкой элементов решетки на ребро поясов ферм из гнутосварных квадратных профилей (рисунок 2).

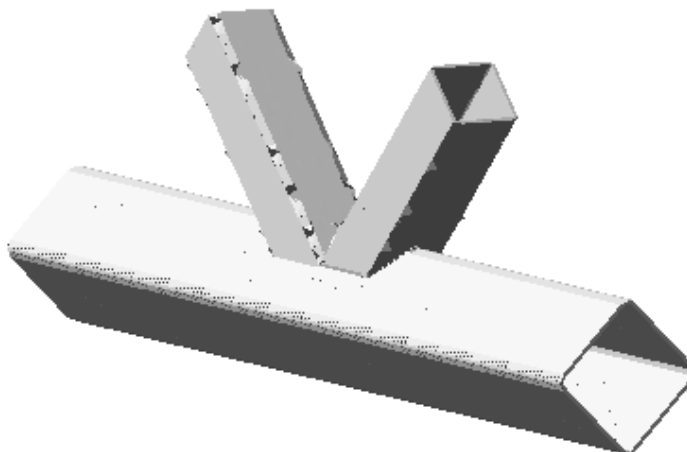


Рисунок 2 – К-образный узел фермы из ГСП с присоединением раскосов к ребру квадратной трубы нижнего пояса [3]

По результатам проведенных численных и лабораторных исследований автором показано, что, благодаря применению более тонких сварных швов, что становится возможным при увеличении их протяженности, предлагаемое конструктивное решение узла позволяет снизить концентрацию напряжений. Кроме того, повышается конструктивная жесткость всего узла и появляется возможность более точного центрирования стержней, что позволяет исключить появление в элементах решетки и поясах ферм дополнительных изгибающих моментов. Все вышеизложенное позволяет повысить общую несущую способность узла в 1,8 раза по сравнению с узлом, рекомендуемым существующими сериями на конструкции покрытия с применением ферм из квадратных и прямоугольных труб. Также, не менее важным достоинством предлагаемой конструкции узла является снижение металлоемкости конструкции в 1,74 раза по сравнению с традиционным решением. Вместе с тем, наряду с отмеченными достоинствами предлагаемого конструктивного решения узла сопряжения раскосов с поясами ферм из ГСП, очевидны и его достаточно серьезные недостатки: повышенная трудоемкость изготовления ферм, из-за необходимости выполнения внутренних несимметричных резов на концах труб раскосов, и появление повышенной концентрации напряжений в зонах контакта областей наклепа гнутосварных профилей поясов и зон концентраций напряжений во внутренних углах вырезов ГСП раскосов с зонами термического влияния сварных швов.

Особое место в покрытиях зданий с металлическим каркасом занимают легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК), применяемые в качестве прогонов. Такие прогоны могут иметь разнообразную форму сечения (С-образный, Z-образный, S-образный профили и т.д.) в зависимости от требуемых характеристик. Проблемой применения ЛСТК в качестве прогонов покрытия является отсутствие до 2017 года нормативных рекомендаций по их расчету.

Исследованию напряженно-деформированного состояния таких прогонов посвящено достаточно большое количество публикаций. Так, в работе [4] проводится экспериментальная проверка прочности С-образных одиночных прогонов и прогона составного сечения из двух С-образных профилей (рисунок 3).

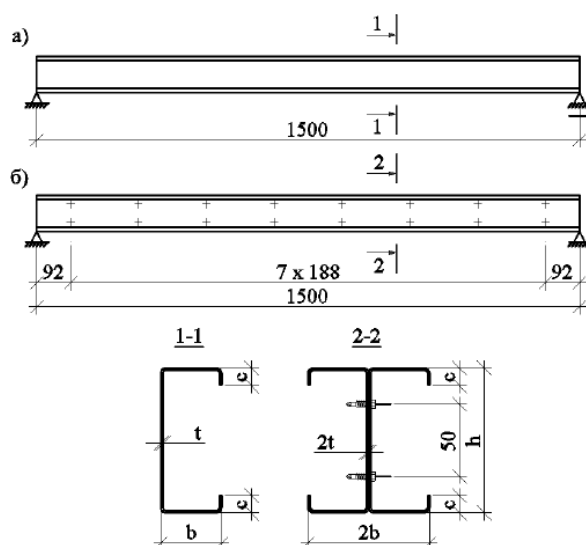


Рисунок 3 – Расчетные схемы и типы сечений одиночного С-образного и составного прогонов [4]

Цель эксперимента сводилась к выяснению влияния напряжений кручения на напряженно-деформированное состояние прогонов из ЛСТК. Образцы испытывались в лабораторных условиях и нагружались с помощью траверсы для образования зоны чистого изгиба. В результате проведенного эксперимента было выяснено, одиночные прогоны очень чувствительны к напряжениям кручения, так как теряли свою устойчивость при небольших нагрузках и имели большие углы закручивания в отличие от прогона составного сечения, несущая способность которого в 2,5 раза выше, чем у одиночных С-образных прогонов. В этой связи авторы работы [4] предлагают разнообразные способы раскрепления прогонов данного типа, позволяющие существенно повысить их несущую способность.

Автор другой публикации [5] рассматривает особенности работы тонкостенного холодногнутого прогона С-образного сечения. Особенностью работы прогонов из таких профилей является искривление элементов их сечений под нагрузкой и невозможность исключения кручения прогонов. Эти факторы делают невозможным применение теории тонкостенных стержней Власова для их расчета. Для определения параметров напряженно-деформированного состояния автором статьи была создана модель двенадцатиметровой трехпролетной неразрезной балки в программном комплексе NASTRAN с помощью плоских и оболочечных конечных элементов. В результате выполненных расчетов были сделаны выводы о том, что искривление элементов поперечного сечения тонкостенного профиля существенно влияет на их напряженно-деформированное со-

стояние. Однако, полученные результаты можно с определенной уверенностью распространить только на прогоны из ЛСТК конкретного профиля. Внесение каких-либо изменений в его конфигурацию требует дополнительных численных исследований и лабораторных испытаний, что, безусловно, ограничивает применение ЛСТК в конструкциях покрытий зданий.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- применение в проектных решениях зданий конструкций покрытий из тонкостенных профилей позволяет существенно снизить расход стали и повысить эстетичность и долговечность конструкций;
- любые отклонения от конструктивных решений элементов покрытий из тонкостенных профилей, приводимых в типовых рекомендациях и сериях, требуют дополнительных численных исследований их напряженно-деформированного состояния с применением современных программных комплексов.

Список литературы

1. Серия 1.460.3-23.98 Стальные конструкции производственных зданий из замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения пролетом 18,24 и 30 м с уклоном кровли 10%. Выпуск 1. Покрытия. Чертежи КМ: справочные материалы/ Госстрой России. — М.: Управление научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя РФ, 2001. — 79 с.
2. Подкопаев А.Ю. «Анализ напряженно-деформированного состояния узла сопряжения стального прогона с верхним поясом фермы из ГСП» / Журнал «Шаг в науку», ОГУ, 2016. — 6 с.
3. Зинькова В.А. Совершенствование ферм с бесфасоночными узловыми соединениями / Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук [Электронный источник]. Белгород, 2014. — Режим доступа: <http://docplayer.ru/45425108-Zinkova-viktoriya-anatolevna-sovershenstvovanie-trubchatyh-ferm-s-besfasonochnymi-uzlovymi-soedineniyami.html> (дата обращения - 22.12.2017 г.)
4. Семко В.А., Прохоренко Д.А. Анализ конструктивных мер для повышения надежности покрытий из легких стальных тонкостенных профилей / Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений». Полтава, Украина, 2011. — Режим доступа: <http://www.pamag.ru/prensa/akm-pnp-lstp> (дата обращения - 22.12.2017 г.)
5. Туснина О.А. Особенности работы тонкостенного холодногнутого прогона С-образного сечения / Вестник МГСУ [Электронный источник]. Москва, 2014. — Режим доступа: <http://vestnikmgsu.ru/index.php/ru/archive/article/display/39/9> (дата обращения - 22.12.2017 г.)