

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ БЕСФАСОНОЧНЫХ УЗЛОВ ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ТРУБ ПО ТКП EN 1993-1-8

*Шурин А. Б., Мухин А. В., Шалобыта Н. Н., Макаревич Е. В.*

**Annotation:** *The purpose of this work is to research the actual work of the joints of trusses from cold formed welded structural hollow sections with the included angle between brace member and the chord of 25 degrees. This study is relevant, because the calculation procedure of the joints without gusset plate according to SNiP II-23 and EN 1993-1-8 doesn't cover cases with angles between brace member and the chord less than 30 degrees.*

*Research of the joints of cold formed welded structural hollow sections at angles between brace member and the chord less than 30 degrees according to SNIP II-23 and EN 1993-1-8 have not been carried out, therefore this work will be able to expand the field of application of these joints in the structural steel design.*

**Аннотация:** *Целью настоящей работы является исследование действительной работы узлов ферм из гнутосварных труб с углом наклона решётки к поясу 25 градусов. Данное исследование является актуальным, т.к. методика расчета бесфасоночных узлов по СНиП II-23 и ТКП EN 1993-1-8 не охватывает случаи с углами наклона решетки к поясу менее 30 градусов.*

*Исследования узлов ферм из гнуто-сварных труб при углах наклона решётки к поясу меньше 30 градусов по СНиП II-23 и ТКП EN 1993-1-8 не проводились, поэтому данная работа сможет расширить область применения данных узлов в проектировании металлоконструкций.*

**Введение.** История применения стальных ферм составляет несколько сотен лет. Практика строительства показала, что наиболее экономичны стальные сварные фермы из круглых, затем из прямоугольных труб, получаемых методом холодного деформирования на специальных поточных линиях. Подобная линия фирмы «Маннесман» существует в Республике Беларусь в г. Молодечно, где с 1978 года осуществляется как выпуск профилей стальных замкнутых гнутых сварных квадратных и прямоугольных (ГОСТ 30245), так и ферм из соответствующих профилей.

В настоящее время проектирование ферм из прямоугольных труб осуществляется многими проектными организациями Республики Беларусь в соответствии с требованиями, приведенными в [1, 2 и 4], которые содержат ряд ограничений, приведенных в таблице 1. Анализ конструирования зданий с такими фермы показывает, что в ряде случаев существуют отклонения от действующих норм [1, 2 и 4] при их проектировании, большинство из которых связано с углами наклона стержней решетки в узлах, сварными соединениями, монтажными узлами.

В строительной практике встречаются случаи применения ферм с бесфасоночными узлами из прямоугольных труб с углами сопряжения стержней в пределах 25...30 градусов, что связано с углами наклона кровель, определяемыми кровельными материалами и минимизацией отапливаемого строительного объема.

Таблица 1 – Область применения стержней ферм из прямоугольных труб по СНиП II-23-81\* и ТКП EN 1993-1-8

Нормируемый параметр	СНиП II-23-81*	ТКП EN 1993-1-8
Минимальная толщина стенки стержней фермы, мм	3	2,5
Максимальная толщина стенки стержней фермы, мм	12 (по ГОСТ 30243-2003)	25 (ограничивается EN 10219-2:1997)
Отношение ширины раскоса к ширине пояса	0,6-0,9	0,25-1,0
Минимальный угол наклона раскосов, град	38°	30°
Применяемый класс стали	C255, C345	Стали с $f_y \leq 460$ МПа
Требования к профилям	нет	Должны соответствовать EN 10210 или EN 10219
Требования по химическому составу	нет	C=(0,09-0,15)%; P до 0,04%; S до 0,05%
Требования к раскислению	нет	Al $\geq$ 0,02%
Дополнительные требования	нет	Класс сечения 1 или 2

Анализ области применения стержней ферм из прямоугольных труб при использовании СНиП II-23 [1, 2] и ТКП EN 1993-1-8 [4] позволил установить, что минимальный угол наклона решетки к поясу в У- или К-образных узловых соединениях ограничивается 30° (таблица 1). Поэтому целью данной работы является оценка напряженно-деформированного состояния У-образных узлов стропильных ферм, при углах наклона решётки к поясу до 30 градусов.

Работа под нагрузкой ферм из прямоугольных труб с бесфасоночными узлами определяется в существенной степени напряженно-деформированным состоянием их узловых соединений.

Следует отметить, что расчет узлов из прямоугольных труб в соответствии с требованиями СНиП II-23, приведенными в [2], следует производить на:

- *продавливание (вырывание) участка стенки пояса, контактирующей с элементом решетки;*
- *несущую способность участка боковой стенки пояса (параллельной плоскости узла) в месте примыкания сжатого элемента решетки;*
- *несущую способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу;*
- *прочность сварных швов прикрепления элемента решетки к поясу [1, 2].*

Расчет таких же узлов по методике, изложенной в ТКП EN 1993-1-8 [4], производится:

- *отказ лицевой поверхности пояса (отказ вследствие пластического разрушения лицевой поверхности пояса) или пластификация пояса (отказ вследствие пластического разрушения поперечного сечения пояса);*
- *отказ боковой поверхности пояса (или отказ стенки пояса) из-за раздавливания, пластификации или неустойчивого состояния (выгиб или потеря устойчивости боковой поверхности пояса из замкнутого профиля или стенки пояса) в месте примыкания сжатого стержня решетки;*
- *сдвиг (срез) сечения пояса;*

- *вырывание поверхности пояса* (отказ из-за возникновения трещины, инициирующей отрыв стержня решетки от пояса);
- *потеря местной устойчивости стержня решетки* [4].

Приведенные в [4] виды предельных состояний, из которых только некоторые определяются расчетами, основанными на экспериментальных исследованиях, соотносенными с аппроксимационными методами предельного равновесия или еще более упрощенными моделями.

Таким образом, ТКП EN 1993-1-8 [4] содержит больше вариантов разрушения узлов из прямоугольных труб, однако не по всем схемам разрушения приведены соответствующие формулы расчета. В частности, в ТКП EN 1993-1-8 расчет прочности сварных швов, прикрепляющих стержни решетки к поясам, не производится, т. к. стыковые сварные швы считаются равнопрочными.

Еще одной особенностью ТКП EN 1993-1-8 [4] является наличие пространственных бесфасоночных узлов типа КК, ТТ и ХХ.

Поэтому в работе рассмотрены особенности напряженно-деформированными состояния У-образных узлов с соответствующими углами.

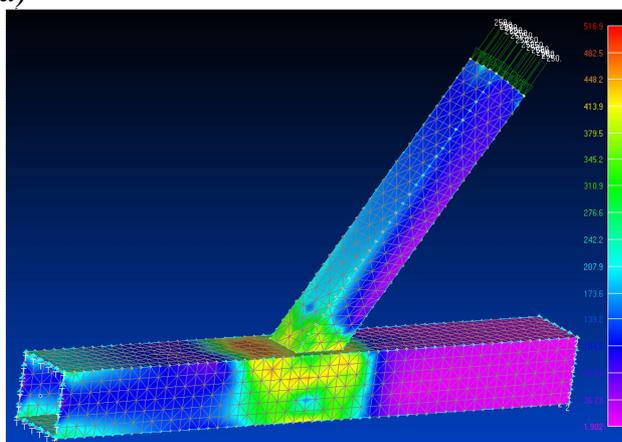
Исследования работы У-образных узлов проводили с использованием численного моделирования. В качестве критерия оценки сложного напряженно-деформированного состояния принимаем эквивалентные напряжения по энергетической теории Губера-Мизеса-Генки ( $\sigma_{\text{эКВ}}$ ) и значения упругих и упруго-пластических деформаций.

Были разработаны конечно-элементные модели без учета и с учетом детализации закругления (рисунок 1). Численное исследование узлов из ГСП производилось при параметрах, приведенных в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры исследуемых узлов

Элемент узла	Сечение, мм	Толщина стенки, мм	Материал	Угол наклона раскоса к поясу	Усилие $N_{Ed}$ , кН	
					Сжатие	Растяжение
Раскос	80x80	3-5	C255	25°	180	225
Пояс	120x120	5	C255		450	550

а)



б)

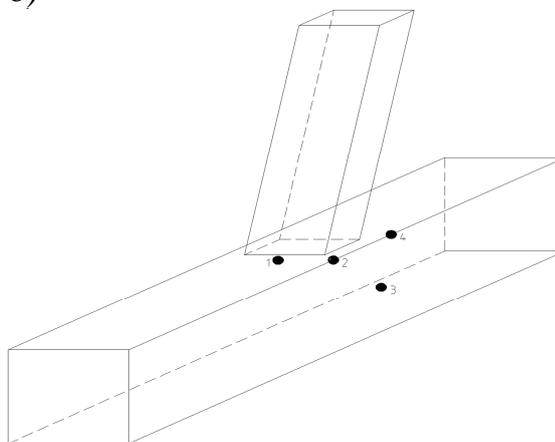
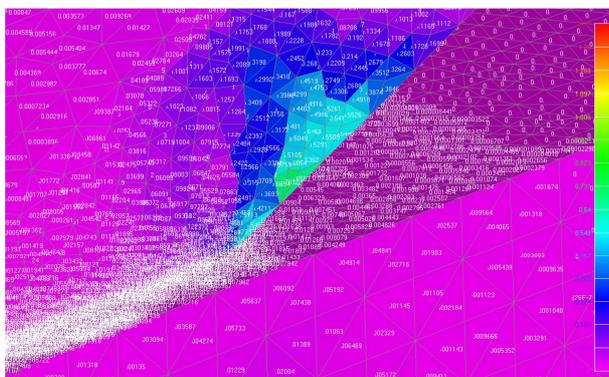


Рисунок 1 – Общий вид КЭ модели узла (а) и схема расположения исследуемых точек в узле (б)

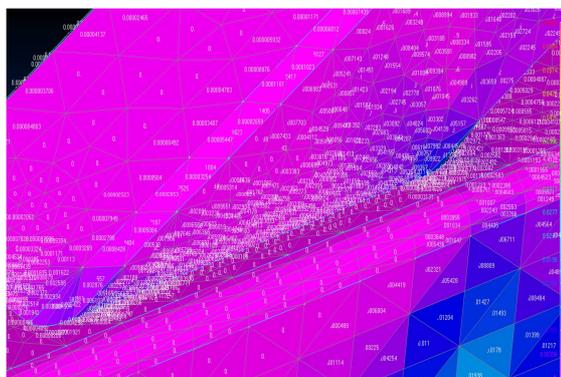
В результате исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Установлено, что расчёт и конструирование узлов ферм из гнуто-сварных труб при углах наклона решётки к поясу до 38 градусов по СНиП II-23-81\* и до 30 градусов ТКП EN 1993-1-8 не производится. Данная тема является актуальной и нуждается в дальнейшей разработке.

а)



б)



**Рисунок 2 – Схема узла с отображением пластических деформаций при осевой сжимающей нагрузке в раскосе 180 кН и осевой растягивающей нагрузке в поясе 559 кН без детализации закругления профиля (а) и с детализацией (б)**

2. При разработке КЭ-модели У-образного узлового соединения детализация закругления профилей раскоса и пояса приводит к уточнению численных значений напряжённо-деформированного состояния в месте их стыка до 20%.

3. Увеличение толщины раскоса с 3 мм до 5 мм привело к увеличению эквивалентных напряжений в характерных точках узла (рисунок 2б). Так же увеличение толщины раскоса при сжатии в раскосе и растяжении в поясе привело к изменению деформированной схемы. Если при 4 мм узел разрушился вследствие потери местной устойчивости стенки раскоса, в то время как узел с раскосом толщиной 5 мм – вследствие продавливания пояса. В узлах с растяжением раскоса и сжатием пояса, увеличение толщины раскоса, не привело к изменению деформированной схемы узла. В данном случае узел разрушился от потери местной устойчивости стенки пояса.

#### **Список цитированных источников**

1. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Стальные конструкции: СНиП II-23-81\*. – Москва : Госстрой СССР: ЦНИТП, 1990. – 96 с.
2. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81\*). – Москва : ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР, 1989. – 214 с.
3. Технический кодекс установившейся практики. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций Ч. 1-1. Общие правила и правила для зданий : ТКП EN 1993-1-1-2009\*. – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2015. – 88 с.
4. Технический кодекс установившейся практики. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций Ч. 1-8. Расчет соединений : ТКП EN 1993-1-8-2014. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2015. – 128 с.