

# Строительные конструкции

УДК 624.014 (075.8)

## СТАЛЬНЫЕ РЕШЕТЧАТЫЕ БЕСФАСОНОЧНЫЕ ПРОГОНЫ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ИЗ ПЯТИГРАННЫХ И КВАДРАТНЫХ ТРУБ

А.Ф. Кузнецов, В.А. Кузнецов

## STEEL BAR JOIST FOR THE COVERING OF INDUSTRIAL BUILDINGS WITH FIVE-CANTED AND SQUARE TUBING

A.F. Kuznetsov, V.A. Kuznetsov

Вместо известных решетчатых прогонов из швеллеров по типовой серии ЦНИИПСК, интенсивно корродируемых в средне (до 0,1 мм/год) и сильно (более 0,1 мм/год) коррозионных средах разработана серия для тех же нагрузок: прогон из пятигранных и квадратных труб для эксплуатации в средне- и высокоагрессивных средах.

*Ключевые слова:* стальной решетчатый прогон, квадратные трубы на ребро, коррозионная стойкость, вместо швеллеров.

A set of five-canted and square tubes used in medium and highly corrosive environment is developed to replace familiar bar joists made of channel beams of a standard set of the Central Research and Design Institute of Construction Metal Structures, which are intensively corrosive in medium (up to 0.1 mm per year) and highly corrosive environments (more than 0.1 mm per year).

*Keywords:* steel bar joist, square-edged tubes, corrosion resistance, instead of channel beams.

В промышленном строительстве при шаге стропильных ферм 12 м прогоны сплошного сечения не экономичны из-за большого расхода стали. За полувековой период были разработаны разнообразные конструкции. Учитывая погонную нагрузку на верхний пояс, были предложены варианты с тремя, четырьмя, шестью и восемью панелями верхнего пояса.

Из перечисленных наиболее технологичным является трехпанельный из-за наименьшего количества стержней и узловых соединений. ЦНИИпроект-стальконструкция им. Мельникова (ЦНИИПСК) разработал типовую серию решетчатых прогонов в стадии КМ для разных погонных нагрузок [1, 2]. Эти прогоны к настоящему времени имеют наибольшее применение. Их схема показана на рис. 1.

Вместе с тем, не требуется особых доказательств, что прогоны из швеллеров из-за полной открытости поверхности стержней эффективны при эксплуатации в неагрессивной коррозионной среде.

В условиях эксплуатации в средней (до 0,1 мм/год) и высокой (более 0,1 мм/год) коррозии целесообразно применять решетчатые прогоны из квадратных труб на ребро, когда грани труб размещаются под углом 45° к плоскости прогона.

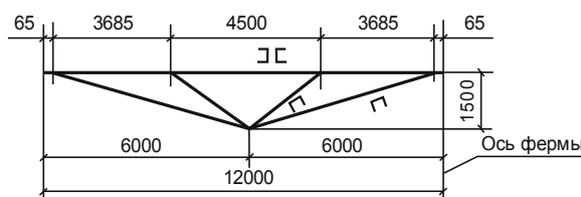


Рис. 1. Схема типового решетчатого прогона ЦНИИПСК из швеллеров

Геометрическая схема, схемы по определению осевых сил и изгибающих моментов в стержнях показаны на рис. 2. Особенности определения усилий в элементах решетчатого прогона состоят в том, что стержневая система – это ферма, верхний пояс которой воспринимает распределенную нагрузку. Поэтому их рассчитывают как статически неопределяемую комбинированную систему с жестким неразрезным верхним поясом. Верхний пояс работает на сжатие с поперечным изгибом, остальные стержни воспринимают только осевые силы, как в обычной ферме [1].

В соответствии со схемами рис. 2 выполнен статический расчет для шести вариантов погонной расчетной нагрузки, принятой для типовой серии [2].

## Строительные конструкции

По усилиям, полученным при статическом расчете, в соответствии с нормами [7] были подобраны сечения стержней прогонов из труб (сталь С 245) с расчетным сопротивлением  $R_y = 24 \text{ кН/см}^2$  и  $\gamma_c = 0,95$ . Разработаны чертежи КМ.

По аналогии с [2] была принята единая геометрическая схема, показанная на рис. 2, а. Единая схема выражена единой геометрией пересечения осей поясов и раскосов. Панели верхнего и нижнего поясов имеют длину 3840 мм. Опорные части верхнего пояса для возможности опирания прогона на ферму приняты по 240 мм. Расстояние между осями поясов равно 1500 мм, как это принято в типовой серии [2]. В запас прочности размеры панелей в расчете на рис. 2, б, в приняты равными 4000 мм.

Такая геометрическая схема при всех размерах сечений труб обеспечивает исключение осевых эксцентриситетов в пересечении осей, поясов и раскосов, единый острый угол примыкания раскосов к поясам, равный  $40^\circ$ , зазор между раскоса-

ми в узлах на уровне внутренних кромок поясов не менее 20 мм.

Сечения стержней, принятые в результате подбора сечений и составления чертежей КМ для прогонов из труб, и масса прогонов приведены в таблице.

При конструировании прогонов из квадратных труб на ребро верхний пояс должен быть из пятигранной трубы по следующим причинам:

- верхняя грань трубы должна быть плоской, шириной не менее 100 мм для опирания плит;
- две нижние грани должны иметь угол  $45^\circ$  по отношению к плоскости прогона для присоединения раскосов из квадратных труб на ребро;
- сечение пояса должно быть развито в плоскости прогона для восприятия осевых сил и изгибающих моментов.

Пятигранные трубы могут быть гнутыми по типу трубы с трапециевидным сечением [5] или составленными, сваренными из швеллеров и равнополочных уголков, стандарт которых разработан в Томском государственном архитектурно-строи-

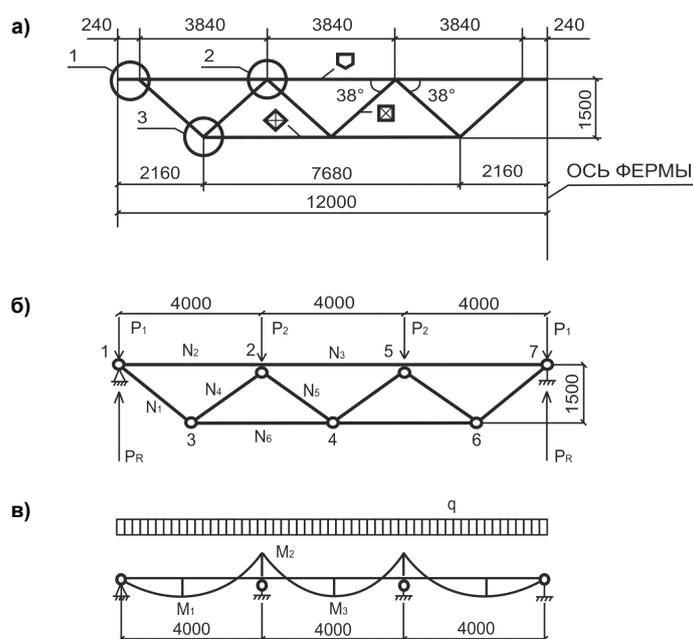


Рис. 2. Схема решетчатого прогона из пятигранной и квадратных труб: а – геометрическая схема; б – расчетная схема для определения осевых сил; в – расчетная схема для определения моментов

### Сечения стержней прогонов из труб

Элементы	Сечение	Допускаемая расчетная нагрузка, кН/м					
		3,2	7,9	11,1	16,5	18,2	31,6
Пояс верхний	Швеллер*	10	12	14	18	18	22
	Уголок*	70×8	90×6	100×6,5	125×8	125×8	160×10
Пояс нижний	Гнутые трубы	63×4	63×4	70×4	80×4	80×4	100×4
Раскосы сжатые		50×4	50×4	63×4	70×4	70×4	90×5
Раскосы растянутые		40×4	40×4	50×4	63×4	63×4	70×4
Масса прогона, кг		335	354	423	562	562	783

\* Профили прокатные, составляющие пятигранную трубу.

тельном университете [4]. Здесь рассмотрена возможность проектировать прогоны из труб с верхними поясами из составных труб, так как для них имеется стандарт [4]. Все другие стержни запроектированы из гнutosварных труб, изготавливаемых по ГОСТ 12336–66.

Основные узлы прогонов по чертежам КМ в общем виде для всех вариантов нагрузок изображены на рис. 3.

Рис. 2, а, таблица и рис. 3 являются основой разработки чертежей КМ для прогонов с расчетными нагрузками не более 31,6 кН/м. Длины косых резов у раскосов вычисляются по формулам, приведенным в [3].

Для разработки чертежей КМД решетчатых конструкций из труб на ребро общепринятый метод, когда на одном листе изображены все детали конструкции, их истинные размеры, местоположение, присоединение сварными швами, здесь применить нельзя. Причиной этому является то, что на чертеже КМ прогонов из труб на ребро (см. рис. 3) на плоскости прогона видны только проекции 2-х граней труб раскосов, и их косых резов, а следовательно, и сварных швов. Истинные размеры деталей на чертеже показать нельзя. Здесь целесообразно использовать единую систему конструкторской документации (ЕСКД), при которой состав-

ляется сборочный чертеж изделия из элементов. Для изготовления каждого элемента составляется детализированный чертеж. В нашем случае для выполнения детализированного чертежа раскосов придется изображать развертки всех граней трубы, где возможно показать все истинные размеры, в том числе и косых резов.

На основе разработанных чертежей КМ прогонов были изучены их технические характеристики, включая массу (кг), размеры открытых поверхностей стержней ( $m^2$ ), осредненную толщину стенок профилей в мм, вычислены коэффициенты слитности, комплексно характеризующие коррозионную стойкость. Для сопоставления были определены перечисленные характеристики и для серийных прогонов [2], и по рис. 4 можно судить, что массы сопоставляемых прогонов при одних и тех же нагрузках практически одинаковы.

Графики зависимости площадей открытых поверхностей от нагрузок приведены на рис. 5. Указанные площади для прогонов из труб в два раза меньше, что говорит об их более высокой коррозионной стойкости.

В теории оценки коррозионной стойкости конструкций разработан критерий, учитывающий параметры и площади сечений профилей. При этом введено понятие коэффициента слитности

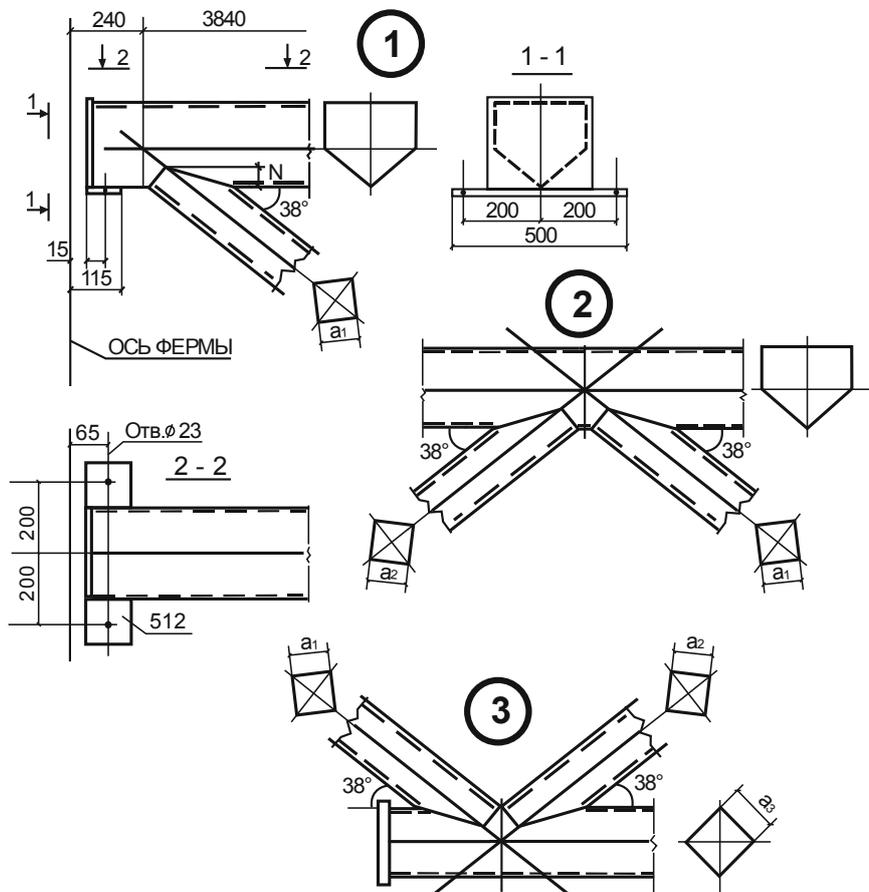


Рис. 3. Основные узлы решетчатых прогонов из пятигранной и квадратных труб рабочих чертежей КМ при разных нагрузках по номерам, обозначенным на рис 2, а

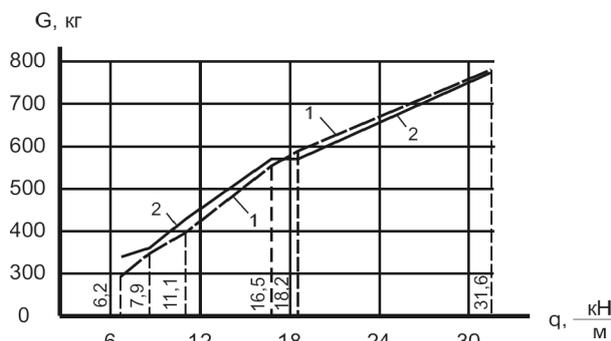


Рис. 4. Масса решетчатых прогонов в зависимости от расчетной нагрузки: 1 – прогоны ЦНИИПСК; 2 – прогоны из труб

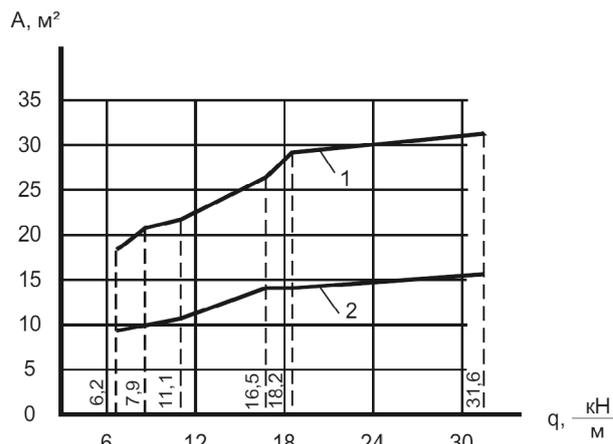


Рис. 5. Площади открытых поверхностей решетчатых прогонов в зависимости от расчетной нагрузки: 1 – прогоны ЦНИИПСК; 2 – прогоны из труб

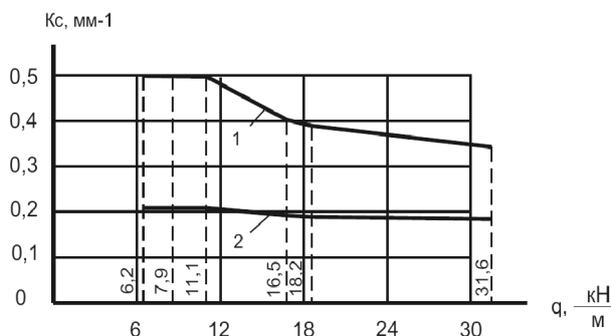


Рис. 6. Зависимость коэффициента слитности  $K_c$  стержней решетчатых прогонов от расчетной нагрузки: 1 – прогоны ЦНИИПСК; 2 – прогоны из труб

$K_c$  с размерностью  $\text{мм}^{-1}$ . Приблизительно для замкнутых профилей коэффициент  $K_c$  равен  $1/t$ , для уголков –  $2/t$ , для швеллеров и двутавров –  $4/(t+d)$ . Здесь  $t$  и  $d$  – соответственно толщина полка и стенки, мм. Чем меньше коэффициент  $K_c$ , тем больше слитность сечения, обладающего повышенной коррозионной стойкостью. Для вычисления коэффициентов слитности всех вариантов прогонов целесообразно использовать массу (см. таблицу), площади открытых поверхностей, подвергаемых коррозии (см. рис. 5).

Определенные коэффициенты слитности вычислены по формулам:

$$V = \frac{G}{\gamma} = \frac{G}{7850}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем стали,  $\text{м}^3$ ;  $G$  – масса прогона, кг;  $\gamma$  – плотность стали,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$$K_c = \frac{A_k}{V} = \frac{1}{t}, \quad (2)$$

где  $A_k$  – площадь открытой поверхности,  $\text{м}^2$ ;  $K_c$  – коэффициент слитностного сечения,  $\text{мм}^{-1}$ .

Приведя размерности для объема  $V$  в  $\text{мм}^3$ , площади  $A_k$  в  $\text{мм}^2$ , по формуле (2) вычислены значения  $K_c$ . Зависимость обобщенного коэффициента слитности  $K_c$  от нагрузки показана на рис. 6. Увеличение толщины элементов сечений при уве-

личении нагрузки для вариантов прогонов уменьшает величину  $K_c$ .

Но основной вывод по графикам рис. 6 состоит в том, что и по величине коэффициентов  $K_c$  прогоны из труб имеют в два раза большую коррозионную стойкость по сравнению с прогонами из швеллеров.

### Выводы

1. Решетчатые прогоны из квадратных труб на ребро имеют такую же массу при всех нагрузках, как и прогоны из швеллеров.

2. Площадь открытых поверхностей стержней прогонов, величина осредненного коэффициента  $K_c$ , удобство очистки и окраски прогонов из труб, расположенных гранями под углом  $45^\circ$  по отношению к плоскости прогона, обеспечивают повышение коррозионной стойкости в два раза, существенно уменьшая трудоемкость и материалоемкость текущих и капитальных ремонтов при эксплуатации по сравнению с прогонами из швеллеров.

3. Разработаны основы выполнения чертежей КМ решетчатых прогонов из квадратных труб на ребро. Составление детализированных чертежей для изготовления прогонов на стадии КМД возможно по системе ЕСКД.

4. Для уменьшения сварочных работ целесообразно для верхних поясов применять пятигранные трубы гнутосварными, разработав для них

сортамент по аналогии с составными из прокатных швеллеров и уголков.

#### Литература

1. Металлические конструкции: справочник проектировщика / под ред. Н.П. Мельникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1980. – 776 с.

2. Стальные решетчатые прогоны производственных зданий пролетом 12 м с применением профилей по сокращенному сортаменту металлопроката. Чертежи КМ. Серия 1. 462. 3-17/85. – М.: ЦНИИПСК, 1987. – 16 с.

3. Кузнецов, А.Ф. Фермы из квадратных труб на ребро без фасонки, устойчивые против коррозии / А.Ф. Кузнецов, В.А. Кузнецов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2011. – Вып. 12. – № 16 (233). – С. 7–10.

4. Копытов, М.М. Легкие металлоконструк-

ции из пятигранных труб / М.М. Копытов, А.В. Матвеев. – Томск: STT, 2007. – 144 с.

5. Тришевский, И.С. Металлические облегченные конструкции: справ. пособие / И.С. Тришевский, В.В. Клепанда. – Киев: Будивельник, 1978. – 112 с.

6. Металлические конструкции: учеб. для строит. вузов. В 3 т. Т. 2: Конструкции зданий / под ред. В.В. Горева. – М.: Высш. шк., 1999. – 528 с.

7. СНиП II-23–81\*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1991. – 96 с.

8. Пособие по контролю состояния строительных металлических конструкций зданий и сооружений в агрессивных средах, проведению обследований и проектирование восстановления защиты конструкций от коррозии (к СНиП 2.03.11–85) / ЦНИИпроектстальконструкции им. Мельникова. – М.: Стройиздат, 1989. – 51 с.

Поступила в редакцию 6 июня 2012 г.