

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) СКФУ в г. Пятигорске**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«Металлические конструкции, включая сварку»**

**Направление подготовки 08.03.01 Строительство
Направленность (профиль) «Строительство зданий и
сооружений»**

Пятигорск, 2020

Методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Металлические конструкции, включая сварку» рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «строительство» (протокол №__ от «__» _____ 2020 г.).

Зав.кафедрой «Строительство» _____ Щитов Д.В.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Введение.....	4
2. Содержание и оформление работы.....	4
3. Применение и конструктивные решения стальных ферм покрытий.....	6
3.1. Общая компоновка и основные решения.....	6
3.2. Конструктивные решения отпавочных марок.....	8
3.3. Конструктивные решения монтажных соединений.....	11
4. Расчет стальных ферм покрытий.....	15
4.1. Определение расчетной нагрузки.....	15
4.2. Определение усилий в стержневых элементах.....	17
4.3. Подбор сечений стержневых элементов.....	20
4.4. Расчет монтажных соединений.....	25
4.5. Определение прогибов и оценка деформативности.....	30
5. Пример расчета и проектирования стальной фермы покрытия.....	33
5.1. Исходные данные.....	33
5.2. Статический расчет плоской фермы.....	34
5.3. Унификация и расчет стержней.....	38
5.4. Конструирование и расчет монтажных стыков.....	42
5.5. Расчет фермы на деформативность.....	48
Библиографический список.....	50
Приложение 1. Сортамент квадратных труб.....	51
Приложение 2. Сортамент прямоугольных труб.....	52
Приложение 3. Дополнение к сортаменту квадратных труб.....	53
Приложение 4. Исходные данные вариантов задания.....	54
Приложение 5. Пример оформления первой (титульной) страницы расчетно-пояснительной записки.....	55
Приложение 6. Пример оформления второй (рядовой) страницы.....	56
Приложение 7. Пример оформления графической части.....	57

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания «Проектирование стальных ферм покрытий» к курсовому проекту по металлическим конструкциям основаны на современных методах расчета и проектирования строительных конструкций зданий и инженерных сооружений. Целью этой работы является овладение практическими навыками статических, прочностных и жесткостных (на устойчивость и деформативность) расчетов, а также проектирования на их основе строительной конструкции в целом, ее отдельных фрагментов, узлов соединений. Тема и содержание работы относятся к смежным разделам строительной механики и металлических конструкций (статический расчет плоских стержневых систем, расчет и конструирование сжатых стержневых элементов, расчет и конструирование сварных и болтовых соединений, составление рабочих чертежей, спецификаций материалов, ведомостей отправочных марок). В качестве рассчитываемого и проектируемого объекта использована конструкция в виде стальной фермы покрытия здания или сооружения. Всем примерам расчета и конструирования предшествует необходимый объем теоретических и справочных данных, позволяющих выполнять курсовой проект без применения дополнительных источников.

2. СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ РАБОТЫ

Проектирование стальных ферм покрытий включает наиболее типичные и характерные особенности разработки строительных металлоконструкций различных зданий и инженерных сооружений, которая, как правило, состоит из двух этапов. На первом этапе металлические конструкции проектируются в составе конкретного объекта и оформляются в виде рабочих чертежей КМ. Итогом второго этапа являются рабочие чертежи КМД, в которых проектная документация первого этапа переработана с учетом технологических возможностей того или иного завода-изготовителя.

Курсовой проект содержит наиболее важные стороны двухэтапного проектирования и состоит из расчетно-пояснительной записки (объемом 25... 30 страниц) и графической части на одном листе ватмана формата А1 (576×841мм).

Расчетно-пояснительная записка включает следующие разделы:

1. Исходные данные (в том числе, уточнение геометрических параметров фермы и сбор нагрузок на нее с определением их нормативных и расчетных значений).

2. Статический расчет плоской фермы (с определением продольных сил, а в некоторых случаях и изгибающих моментов в стержневых элементах).

3. Унификация и расчет стержней (включая подбор сечений, определение массы и компоновку в виде отправочных марок).

4. Конструирование и расчет монтажных стыков (в том числе, сварных и болтовых соединений в их составе).

5. Расчет фермы на деформативность (с определением прогибов и оценкой их величин).

6. Библиографический список (использованная литература).

В расчетно-пояснительной записке приводят все необходимые обоснования принятых решений и расчеты.

Текстовые пояснения должны быть минимальными, а расчеты оформляться, в основном, в табличном виде. Рисунки выполняются так же, как в технической литературе с обязательным соблюдением масштаба. Под рисунком пишут слово «Рис.», указывают его номер и название, а по мере надобности добавляют подрисовочный текст. При оформлении таблиц сверху слева пишут слово «Таблица», указывают ее номер и название. Примечание помещают ниже таблицы. На все таблицы и рисунки должны быть ссылки в тексте.

Записка должна быть оформлена на стандартной бумаге формата 210×297 мм в компьютерном (размер шрифта 14 через 1,5-2 интервала) или рукописном варианте. В начале записки помещают оглавление, в конце – библиографический список использованной литературы. Все страницы, включая рисунки, должны быть пронумерованы (титовая страница подшивается первой без указания номера).

Графическая часть курсового проекта включает:

а) схему стальной фермы покрытия с расчетными усилиями, размерами и маркировкой отправочных элементов;

б) схематичный разрез конструкций кровельного ограждения для сбора нагрузок на ферму;

в) виды всех отправочных элементов с необходимыми размерами, фрагментами, узлами и маркировкой сборочных деталей;

г) спецификацию сборочных деталей, ведомость отправочных элементов фермы, примечания о принятых материалах, особенностях производства работ и т.д.

Чертеж выполняют в карандаше с соблюдением требований «Единой системы конструкторской документации» (ЕСКД). Размеры проставляют в миллиметрах. Рекомендуется до выполнения чертежа наметить схемы, виды, разрезы, характерные узлы, выбрать масштабы, обдумать и прикинуть размещение материала на листе, максимально применяя симметрию конструкции. Полезно делать предварительные эскизы, тогда чертеж будет выполнен чище и быстрее. При этом не менее полезной может оказаться тщательная проработка иллюстративного материала расчетно-пояснительной записки.

Для выполнения курсового проекта каждый студент получает индивидуальное задание (вариант задания), которое содержит:

- а) пролет (расстояние между опорами) стальной фермы покрытия;
- б) расстояние (шаг) между соседними фермами в покрытии;
- в) снеговой район по нагрузке;
- г) малоуклонную ($i=1,5 \dots 3,5 \%$) конструкцию кровельного ограждения;
- д) технологическое требование расчленения стальной фермы на минимальное число отправочных элементов полной заводской готовности с монтажными стыками на болтовых соединениях без сварки.

Конечной задачей курсового проекта является составление основной проектной документацией стальной фермы для ее изготовления и последующего монтажа, уточнение и прогнозирование ее несущей способности и нагрузок на нее, определение важнейших технических характеристик (приведенная масса и абсолютная масса конструкции, габариты и массы отправочных элементов, расход материалов и т.д.).

3. ПРИМЕНЕНИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПОКРЫТИЙ

3.1. Общая компоновка и основные решения

Стальные фермы в зависимости от пролета и величины действующей на них нагрузки подразделяются на легкие и тяжелые. Легкие фермы предназначены для покрытий промышленных и гражданских зданий с относительно небольшими пролетами ($l \leq 48 \dots 54$ м). Они воспринимают в основном статические нагрузки и содержат стержневые элементы с сечениями из простых прокатных или гнутых профилей при усилиях в стержнях $N < 3000 \dots 5000$ кН (300...500 тс). Тяжелые (мостовые) фермы способны перекрывать пролеты до $l = 100 \dots 120$ м и выдерживать динамические нагрузки от транспорта. Их стержневые элементы имеют составное сечение при усилиях в стержнях $N > 3000 \dots 5000$ кН (300...500 тс). В дальнейшем будут рассматриваться только легкие стальные фермы.

Пролеты унифицированных ферм кратны модулю 6 м и составляют 18; 24; 30; 36; 42 м (рис. 1). Реже применяют стальные фермы покрытий для пролетов 15; 21; 27; 33; 39 м.

Высоту ферм принимают равной:

- при подвеске подъемно-транспортного и другого технологического оборудования за узлы в середине пролета

$$h = (1/10 \dots 1/9)l; \quad (1)$$

- во всех остальных случаях

$$h = (1/12 \dots 1/11)l, \quad (2)$$

где h и l – соответственно высота и пролет ферм.

Минимальную высоту ферм можно определять из условия жесткости:

$$h_{\min} = \frac{6,5\sigma_n l}{24E} (l / f_u) (1 + 2,4h / l), \quad (3)$$

где σ_n – максимальное напряжение в поясе от нагрузки, при которой проверяется жесткость конструкции (как правило, $\sigma_n = (0,7 \dots 0,8)R$, R – расчетное сопротивление материала конструкции); E – модуль упругости материала фермы; f_u – нормируемый предельный прогиб конструкции (второе слагаемое в скобках учитывает влияние решетки).

При пролетах ферм свыше 36 м следует предусматривать строительный подъем, равный прогибу от постоянной и длительной нагрузок. В плоских кровлях строительный подъем следует предусматривать независимо от величины пролета, принимая его равным прогибу от суммарной нормативной нагрузки плюс 1/200 пролета. Уклон 0,015...0,035 создают за счет перелома в средних узлах поясов.

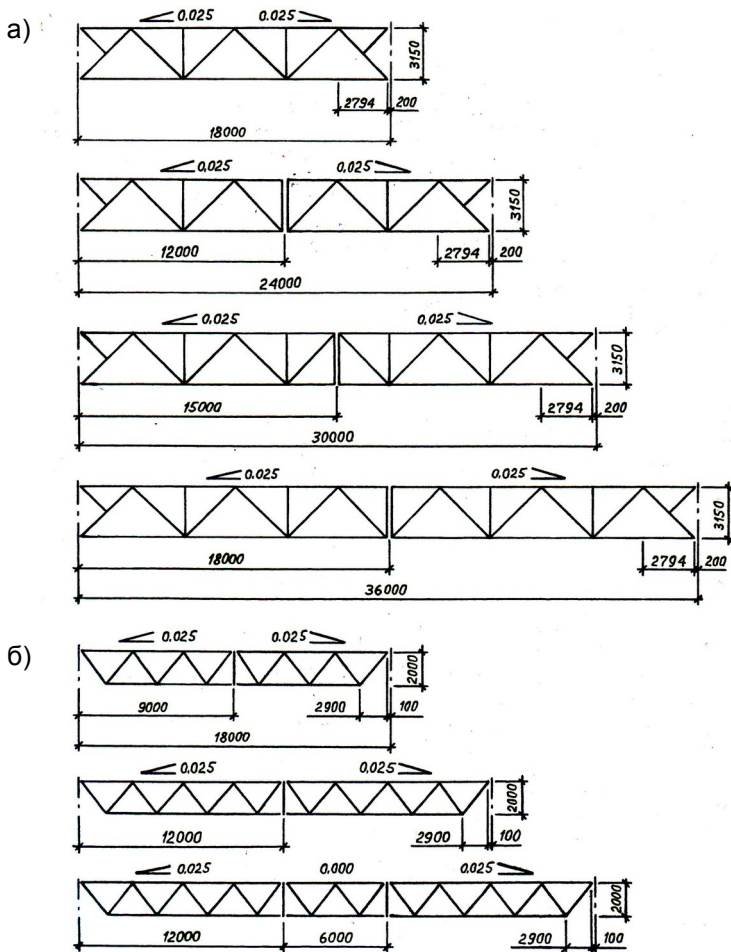


Рис. 1. Схемы унифицированных стальных ферм: а – из прокатных профилей открытого сечения (парных уголков и широкополочных тавров); б – из замкнутых гнутосварных профилей.

При проектировании ферм учитывают габариты грузов, которые могут перевозиться по железной дороге: 3,85 м – высота, 3,2 м – ширина, 13 м – длина при транспортировании на одной платформе. В связи с этим фермы выполняются расчлененными на отдельные элементы, которые называются отправочными марками и собираются на месте во время монтажа.

3.2. Конструктивные решения отправочных марок

В стальных фермах покрытий к числу наиболее рациональных относятся треугольные системы решетки без дополнительных стоек (рис. 2, а) и с дополнительными стойками (рис. 2, б). Дополнительные стойки уменьшают расчетные длины сжатых поясов, работают только на местную нагрузку и отличаются незначительной материалоемкостью. В треугольных системах без дополнительных стоек увеличивается количество раскосов, но зато все стержни решетки имеют одинаковую длину, что позволяет повысить степень унификации конструкций.

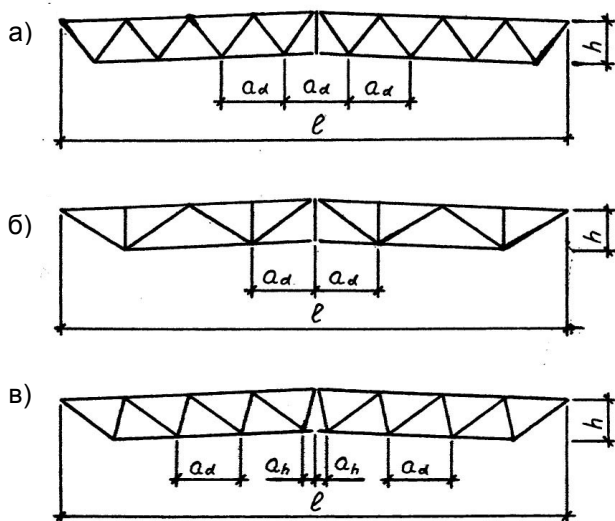


Рис. 2. Схемы стальных ферм покрытий: а – с треугольной решеткой без дополнительных стоек; б – с треугольной решеткой с дополнительными стойками; в – с раскосной решеткой с наклонными стойками.

При малой высоте ферм ($h < l/12$), а так же при значительных узловых нагрузках весьма рациональны раскосные системы решетки. Из них в стальных фермах покрытий наиболее эффективен тип решетки, применяемый в фермах Поста, в которых сжатые раскосы незначительно наклонены относительно вертикальной оси и условно могут быть названы наклонными стойками (рис. 2, в). При таком решении минимальный расход стали обеспечивается, когда величина наклона стоек (сжатых раскосов) составляет:

$$a_h / a_d = 1 - (1 \dots 1,428)h / a_d, \quad (4)$$

где a_h - проекция наклонных стоек на пояса; a_d - длина панели поясов ($h < l/12$, $h < a_d$).

Наиболее высокие технико-экономические показатели у стальных ферм из замкнутых гнутосварных профилей (ГСП) прямоугольного сечения (рис. 3, а), которые выгодно отличаются своими прочностными и жесткостными характеристиками, имеют сравнительно небольшую массу и хорошо апробированы в широко распространенных конструкциях покрытий системы «Молодечно» (рис. 4). Особенно эффективна работа ГСП в сжато-изгибаемых и сжатых стержнях, к которым относятся верхние пояса и сжатые раскосы и стойки решетки. Сопряжения стержней представляют собой заводские сварные бесфасоночные узлы, в которых элементы из ГСП примыкают непосредственно к поясам, для чего их торцы обрезают под определенными углами. Конструктивной особенностью таких узлов является необходимость наличия между ближайшими сварными швами зазоров, составляющих в свету не менее 10 мм. Сварные швы должны быть равнопрочными с соответствующими им стержневыми элементами из ГСП и обеспечивать их герметичность, что необходимо из условий защиты полых профилей от коррозии. Ширину стержней решетки (из плоскости конструкции) желательно принимать не менее 0,6 поперечного размера пояса для предотвращения его продавливания. Углы примыкания раскосных элементов к поясам должны быть не менее 30° для обеспечения плотности участка сварного шва со стороны острого угла. При более острых углах используют парные фасонки из листового проката.

Для конструирования сопряжений стержней из ГСП допустимо применение узловых эксцентриситетов, значения которых можно не учитывать в расчетах, если они не превышают 1/4 высоты поперечного сечения стержневого элемента.

Из открытых профилей металлопроката в стальных фермах покрытий наиболее рациональны двутавры в поясах и уголки в стержнях решетки. В случае их бесфасоночных сопряжений растянутые стержни имеют V- или Λ-образные сечения и представляют собой одиночные равнополочные уголки, ориентированные симметрично относительно плоскости фермы (рис. 3, б). Такое решение апробировано в конструкциях системы «Тагил». Однако в

сжатых стержнях из одиночных уголков, когда плоскость их наименьшей жесткости совпадает с плоскостью фермы, гибкости имеют предельно допустимые и близкие к ним значения, что повышает металлоемкость. Поэтому более предпочтительны сжатые элементы решетки, имеющие

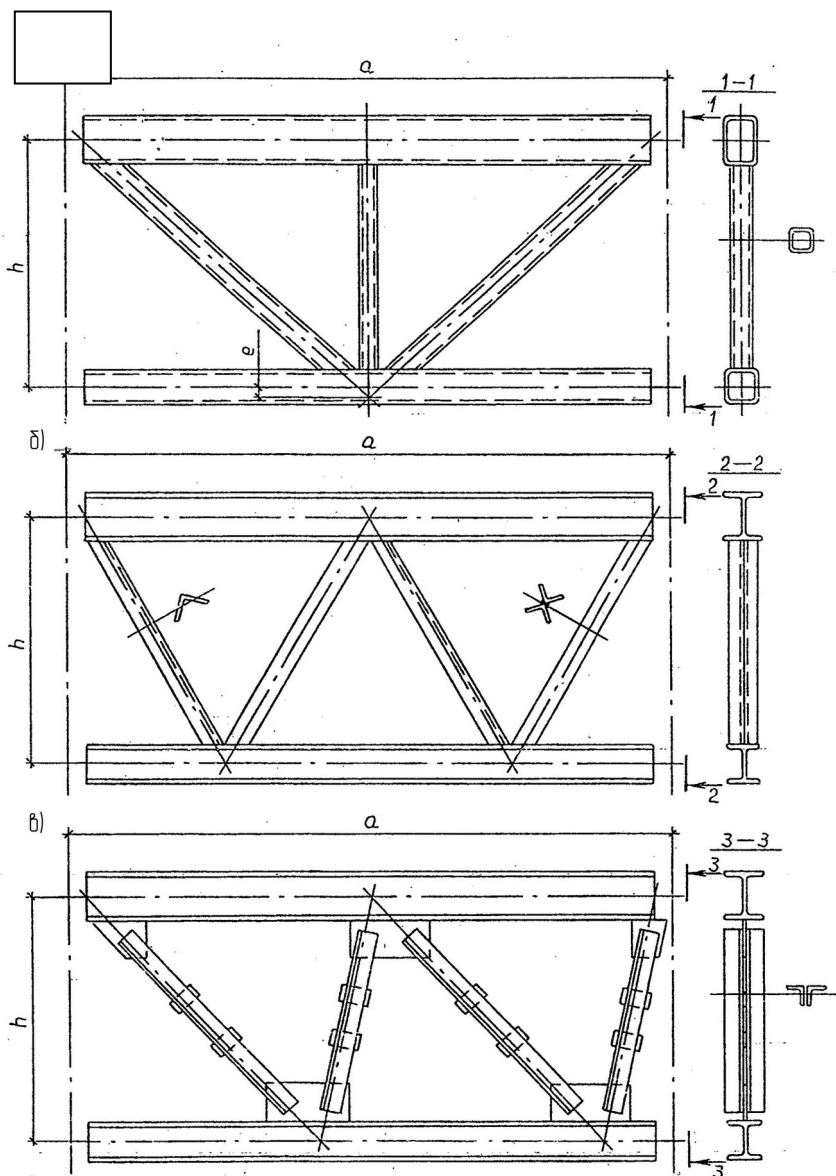


Рис. 3. Схемы отправочных марок стальных ферм покрытий: а – из замкнутых гнутосварных профилей; б, в – из прокатных профилей открытого сечения.

X-образные сечения, скомпонованные из парных уголков (рис. 3, в). Их сваривают прерывистыми швами друг с другом обухами по всей длине.

Торцы стержней из одиночных и парных уголков обрезают под определенными углами и непосредственно приваривают к полкам поясных двутавров швами, необходимая длина которых обеспечена периметром открытого сечения каждого из элементов решетки. Здесь, как и в случае бесфасоночных узлов стержней из ГСП, минимальные зазоры между ближайшими сварными швами должны составлять в свету не менее 10 мм, а не учитываемые в расчетах узловые эксцентриситеты не должны превышать 1/10 высоты поясного двутавра.

При изготовлении отправочных марок с бесфасоночными сопряжениями стержней необходимо соблюдать определенные технологические допуски. Для того, чтобы компенсировать неточности изготовления, в некоторых случаях элементы решетки с V-, Λ- и X-образными сечениями можно заменить на традиционное решение стержней из парных уголков с листовыми фасонками и прокладками (рис. 3, в).

Стальные фермы покрытий проектируют таким образом, чтобы их отправочные марки имели максимальную степень заводской готовности, а количество монтажных соединений было минимальным. Наиболее часто отправочные марки представляют собой зеркально-симметричные полуфермы с укороченными вставками между ними в середине пролета. Их длины определяются главным образом размерами профилей и составляют чаще 6; 9; 12 м и реже 15; 18 м (при соответствующем согласовании с металлургическим заводом). При этом учитывают также технологические возможности изготовления, монтажа и эксплуатации металлических конструкций.



Рис. 4. Общий вид стальных ферм покрытия из замкнутых гнутосварных профилей типа «Молодечно».

3.3. Конструктивные решения монтажных соединений

Болтовые монтажные соединения обладают рядом преимуществ по сравнению со сварными. К ним следует отнести меньшую трудоемкость на строительной площадке, высокое качество исполнения специалистами более низкой квалификации, простоту замены при реконструкции. Перечисленные достоинства по комплексной оценке эффективности значительно перекрывают недостатки болтовых соединений, которые включают

повышенную металлоемкость за счет использования болтов и накладок, дополнительные затраты труда на заводе, ослабление сечения отверстиями.

Монтажные стыки на болтах стержневых элементов из прокатных профилей открытого сечения выполняют с накладками. Предпочтение следует отдавать сдвигоустойчивым высокопрочным болтовым соединениям. Весьма эффективны фланцевые болтовые соединения (рис. 5). По сравнению со сдвигоустойчивыми соединениями количество болтов уменьшается в 3...4 раза, что обеспечивает снижение трудоемкости как на стадии заводского изготовления, так и на стадии монтажа. Недостатком фланцевого соединения является повышенная деформативность.

Фланцевые соединения могут быть выполнены с предварительным натяжением высокопрочных болтов (тип А) и без натяжения (тип Б). В соединениях типа Б возможно появление в растянутой зоне зазоров между фланцами. Болты во фланцевых стыках устанавливают либо с постоянным шагом по высоте, либо с переменным, концентрируя в наиболее растянутой зоне. Для болтовых соединений следует применять болты классов прочности 5.6; 5.8; 8.8; 10.9, а также высокопрочные болты с минимальным временным сопротивлением 1100 и 1400 Н/мм² (классов прочности 110 и 140). Ряд высокопрочных болтов начинается с класса 10.9.

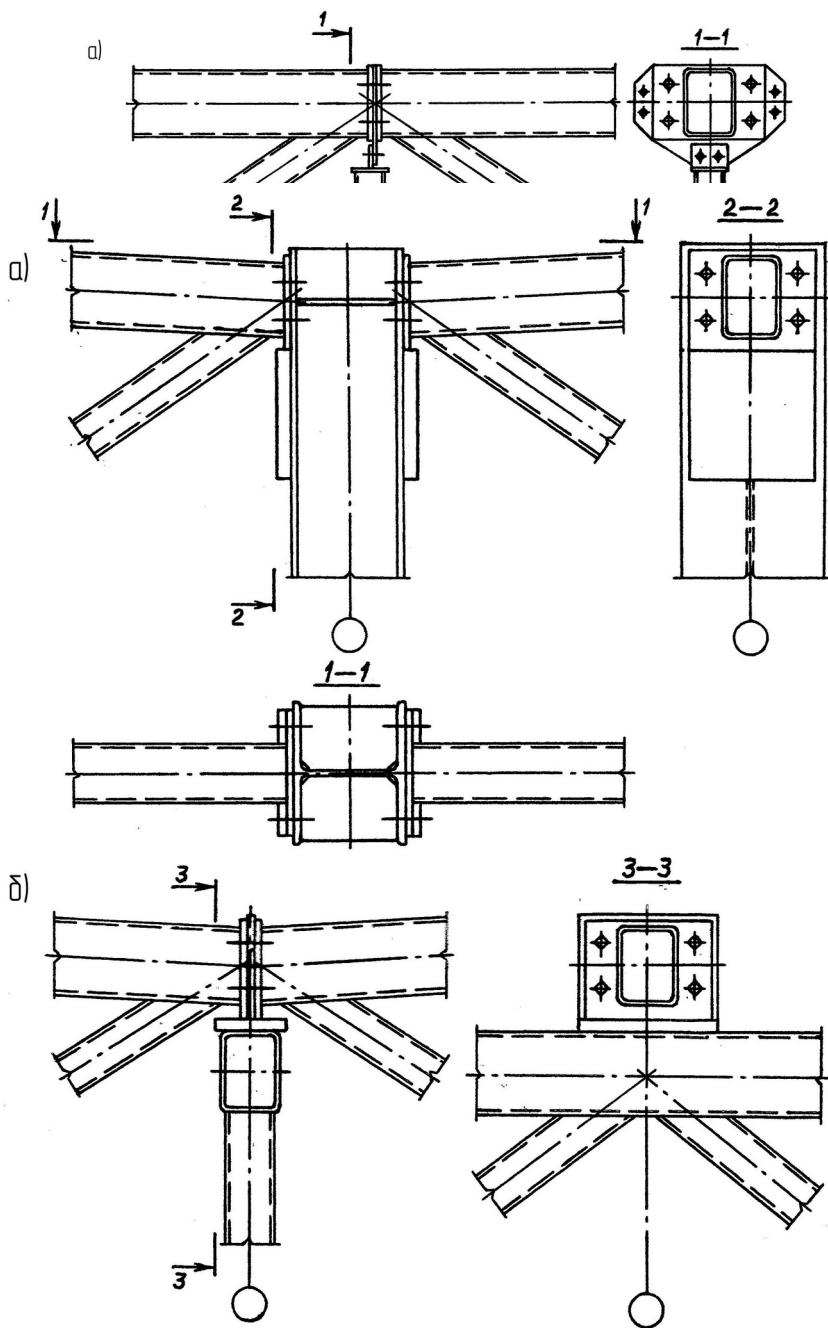
Для фланцев элементов стальных конструкций, подверженных растяжению, изгибу или их совместному действию, следует применять листовую сталь с гарантированными механическими свойствами в направлении толщины проката (в так называемом z-направлении). Такие фланцы могут быть выполнены из листовой низколегированной стали С345, С375 (соответственно марок 09Г2С-15, 14Г2АФ-15). Фланцы сжатых элементов можно изготавливать из обычной листовой стали.

К стержневым элементам ферм из замкнутых профилей фланцы приваривают односторонними швами (рис. 5, а). Для размещения необходимой длины таких швов в растянутых стыках применяют ребра жесткости в виде треугольных листовых фасонки, которые обеспечивают, кроме того, требуемую жесткость фланцев без увеличения их толщины. К стержням ферм из прокатных профилей открытого сечения фланцы приваривают двухсторонними швами, необходимая суммарная длина которых, как правило, обеспечивается без дополнительных соединительных элементов (рис. 5, б).

В собранных монтажных стыках между фланцами размещают плоские листовые фасонки с отверстиями под болты, которые предназначены для соединения стержневых элементов решетки фермы, а также связей между фермами.

Опорные узлы стальных ферм покрытий имеют конструктивное оформление, аналогичное монтажным соединениям на болтах и фланцах (рис. 6). Здесь фланцевый элемент передает опорное давление фермы на поддерживающую конструкцию (колонну или подстропильную ферму),

выполняет функции опорной планки (опорного ребра) и имеет фрезерованный торец.



ГН

БХ

Рис. 6. Схемы узлов опирания стальных ферм: а – на колонну; б – на подстропильную ферму.

4. РАСЧЕТ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПОКРЫТИЙ

4.1. Определение расчетной нагрузки

Расчетная нагрузка на стальные фермы покрытий включает следующие нагрузки:

- постоянные – собственный вес стальных ферм и вес поддерживаемых ими конструкций (прогонов, связей, настила, тепло- и гидроизоляции);
- временные – нагрузка от подвешенного подъемно-транспортного оборудования, атмосферные воздействия (снег, ветер).

Собственный вес стальных ферм определяется их массой, приведенное значение (то есть отнесенное к 1 м^2 горизонтальной проекции покрытия) которой можно вычислять по формуле:

$$m = \psi'_m m_s, \quad (5)$$

где ψ'_m - строительный коэффициент массы; m_s - приведенная масса стержневых элементов.

Строительный коэффициент массы представляет собой отношение массы узловых, соединительных, переходных, крепежных и прочих вспомогательных элементов к массе основных (стержневых). В случае стальных ферм покрытий его величина составляет: $\psi'_m = 1,2$ – при использовании узловых фасонки и соединительных прокладок в стержневых элементах из парных уголков; $\psi'_m = 1,03 \dots 1,05$ – при басфасоночных узлах сопряжений стержневых элементов.

Приведенная масса стержневых элементов стальных ферм покрытий зависит от их пролета и ориентировочно составляет:

$$m_s = k_m l, \quad (6)$$

где $k_m = 0,4 \dots 0,8 \text{ кг/м}^3$.

Приведенная масса ферм характеризует расход строительной стали и является нормативной нагрузкой от собственного веса, для которой коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,05$.

Значения нагрузок от веса поддерживаемых конструкций приведены в табл. 1.

Воздействия от подвесных кранов и другого подвешенного подъемно-транспортного и технологического оборудования учитываются эквивалентной нагрузкой, равномерно распределенной по всей площади покрытия. Значения интенсивности эквивалентной нагрузки уточняются по паспортным данным этого оборудования.

Табл. 1. Значения постоянной нагрузки от веса конструкций покрытий

Наименование конструкций	Нормативная нагрузка, кПа (кгс/м ²)	Коэффициент надежности по нагрузке, γ_f	Расчетная нагрузка, кПа (кгс/м ²)
Прогоны	0,03...0,05 (3...5)	1,05	0,032...0,053 (3,2...5,3)
Профилированный настил	0,10...0,15(10...15)	1,05	0,105...0,158 (10,5...15,8)
Пароизоляция	0,04 (4)	1,2	0,048 (4,8)
Утеплитель плотностью 250 кг/м ³ при толщине слоя 100 мм	0,25 (25)	1,2	0,30 (30)
Четырехслойный рулонный ковер	0,16 (16)	1,3	0,208 (20,8)
Гравийная защита при толщине слоя 20 мм	0,40 (40)	1,3	0,52 (52)

Полное расчетное значение снеговой нагрузки S на горизонтальную проекцию покрытия следует определять по формуле:

$$S = S_g \cdot \mu, \quad (7)$$

где S_g – расчетное значение веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли (табл. 2); μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие. Для пологих покрытий (угол наклона к горизонту $\alpha \leq 25^\circ$) без фонарей и перепадов высот $\mu = 1$.

Нормативное значение снеговой нагрузки следует определять умножением расчетного показателя на коэффициент $\gamma_f = 0,7$.

Давление ветра учитывается только на вертикальные поверхности, а также на поверхности с углом наклона к горизонту $\alpha > 30^\circ$.

Расчетную нагрузку на стропильные фермы покрытий определяют с учетом наиболее неблагоприятного сочетания постоянных и временных нагрузок. При учете сочетания, включающего постоянные и не менее двух временных нагрузок, расчетные значения временных нагрузок умножают на

коэффициент сочетаний $\psi' = 0,9$. При учете основного сочетания, включающего постоянные и одну временную нагрузку, коэффициент сочетаний не вводят.

Табл. 2. Вес снегового покрова

Снеговые районы Российской Федерации	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
S_g , кПа (кгс/м ²)	0,8 (80)	1,2 (120)	1,8 (180)	2,4 (240)	3,2 (320)	4,0 (400)	4,8 (480)	5,6 (560)

4.2. Определение усилий в стержневых элементах

Осевые продольные силы в стержневых элементах стальных ферм покрытий, работающих по балочной схеме (рис. 7), можно вычислять по формулам:

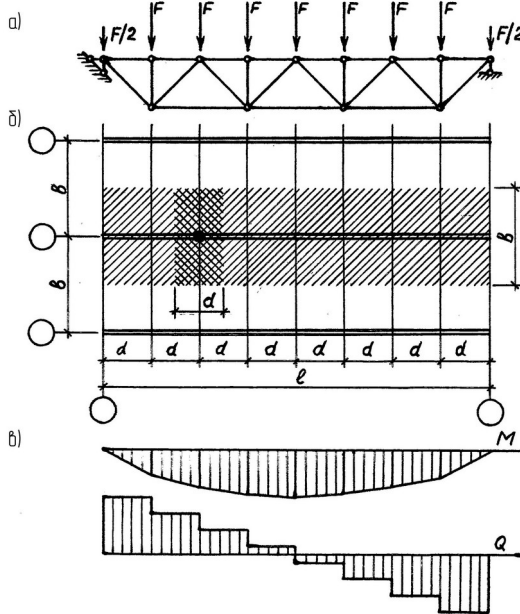


Рис. 7. Расчетная схема фермы (а), определение узловых и погонных нагрузок (б), эпюры изгибающих моментов и поперечных сил (в).

$$N_{II} = \pm M / h; \quad (8)$$

$$N_p = \pm Q / \cos \beta, \quad (9)$$

где N_{II} и N_p – продольные силы соответственно в поясах и раскосах решетки; M и Q – соответственно изгибающий момент и поперечная сила в рассматриваемом сечении фермы; h – высота фермы; β – угол наклона раскосов относительно вертикальной оси.

В фермах с треугольной системой решетки и дополнительными стойками последние испытывают осевое сжатие N_c под действием узловых нагрузок F :

$$N_c = - F = - pbd, \quad (10)$$

где p – интенсивность расчетной нагрузки, распределенной равномерно по всей площади покрытия; bd – грузовая площадь узловой нагрузки F ; b – шаг ферм (расстояние между фермами); d – длина панели верхнего пояса. При этом продольные силы в растянутых раскосах можно вычислить по формуле (9), а в сжатых:

$$N_{pc} = -(Q - F) / \cos \beta, \quad (11)$$

где Q – поперечная сила в рассматриваемом сечении фермы.

В беспрогонных покрытиях верхние пояса стальных ферм кроме осевых сил сжатия воспринимают изгибающие моменты, обусловленные внеузловой нагрузкой (рис. 8) от опертых на них листов профилированного настила. В пределах каждой из ферм значения этих моментов можно определять по формулам:

- пролетный момент в крайних панелях

$$M_{KI} = qd^2 / 12; \quad (12)$$

- пролетный момент в промежуточных панелях

$$M_{III} = qd^2 / 16; \quad (13)$$

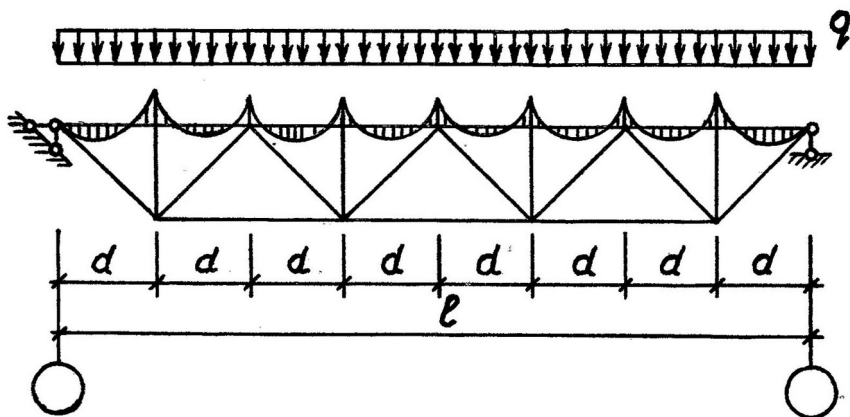
- опорный момент во втором и предпоследнем узлах

$$M_{BV} = - qd^2 / 10; \quad (14)$$

- опорный момент в промежуточных узлах

$$M_{IV} = - qd^2 / 14, \quad (15)$$

где q – интенсивность равномерно распределенной погонной нагрузки, $q =$
 $= pb$.



В малоуклонных покрытиях, когда уклон составляет $i=0,015\dots 0,035$, параллельные пояса стальных ферм наклонены к горизонту под углом $\alpha=0^{\circ}50' \dots 2^{\circ}10'$, что не оказывает существенного влияния на распределение усилий в основных стержневых элементах. Исключение составляют узлы поясов, в которых появляются дополнительные усилия. Так, в ферме на рис. 9, а для восприятия таких усилий необходим стержневой элемент решетки, который растянут продольной силой:

$$N_M = 2N_{II,\max} \sin \alpha, \quad (16)$$

где $N_{II,\max}$ – наибольшее поясное усилие в середине пролета. В ферме на рис. 9, б дополнительные усилия от излома поясов уменьшают продольную силу в стойке решетки, сжатой узловой нагрузкой:

$$N_M = -F + 2N_{II,\max} \sin \alpha. \quad (17)$$

Узлы излома поясов ферм образуют конек покрытия и их, как правило, конструктивно оформляют в виде монтажных соединений отправочных марок, в которых часто размещают стержневые элементы решетки. В формулах (16) и (17) применительно к фермам с односторонним изломом поясов в узлах (например, см. ферму с $l = 30$ м на рис. 1, б) множитель, равный 2, необходимо заменить множителем, равным 1.

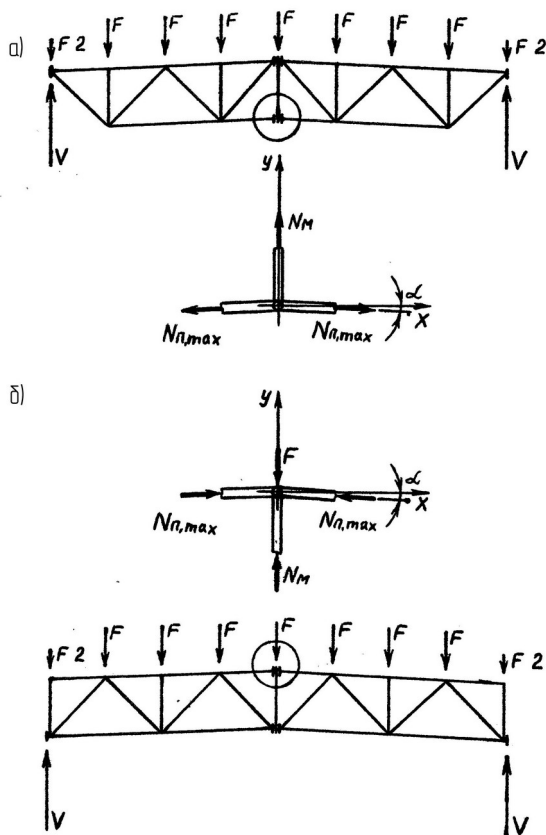


Рис. 9. а – н

узлов излома их

4.3. Подбор сечений стержневых элементов

В стальных фермах покрытий сечения стержневых элементов целесообразно подбирать высотой не более $1/15 \dots 1/10$ их длины. При превышении этих отношений следует учитывать дополнительные изгибающие моменты в элементах от жесткости узлов.

Расчет на прочность стержневых элементов, подверженных центральному растяжению или центральному сжатию силой N , выполняют по формуле:

$$\sigma / (\gamma_c R_y) = N / (A_n \gamma_c R_y) \leq 1, \quad (18)$$

где σ – нормальное напряжение; A_n – площадь сечения «нетто»; R_y – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести (табл. 3); γ_c – коэффициент условий работы, $\gamma_c = 1,1$ для сталей с

пределом текучести $\sigma_y \leq 440$ МПа (кгс/см²), $\gamma_c = 1,0$ для сталей с $\sigma_y > 440$ МПа (4400 кгс/см²), $\gamma_c = 0,95$ для растянутых и $\gamma_c = 0,8$ для сжатых элементов решетки из одиночных уголков по типу ферм системы «Тагил» (см. рис. 3, б) $\gamma_c = 0,85$ для растянутых элементов решетки, рассчитываемых без учета изгибающих моментов.

Расчет на устойчивость стержневых элементов, подверженных центральному сжатию силой N , выполняют по формуле:

$$\sigma / (\gamma_c R_y) = N / (\varphi A \gamma_c R_y) \leq 1, \quad (19)$$

где φ – коэффициент устойчивости при центральном сжатии (коэффициент продольного изгиба); A – площадь сечения «брутто».

Значения коэффициентов φ вычисляют в зависимости от условной гибкости $\bar{\lambda}$:

$$\text{- при } 0 < \bar{\lambda} \leq 2,5 \quad \varphi = 1 - 0,066 \bar{\lambda} \sqrt{\bar{\lambda}}; \quad (20)$$

$$\text{- при } 2,5 < \bar{\lambda} \leq 4,5 \quad \varphi = 1,46 - 0,34 \bar{\lambda} + 0,021 \bar{\lambda}^2; \quad (21)$$

$$\text{- при } 4,5 < \bar{\lambda} \quad \varphi = 332 / [\bar{\lambda}^2 (51 - \bar{\lambda})], \quad (22)$$

где $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E}$; E – модуль упругости стали, $E = 206000$ МПа (2100000 кгс/см²); $\lambda = l_{ef} / i$ – гибкость стержневого элемента; i – радиус инерции сечения; l_{ef} – расчетная длина элемента.

Расчетные длины сжатых и сжато-изгибаемых элементов можно принимать равными геометрическим длинам (расстояниям между центрами узлов), что идет в запас их несущей способности.

Верхние пояса ферм, нагружаемые профилированным настилом, работают на осевую силу и изгиб, расчетные значения которых принимают для одного и того же сочетания нагрузок. При этом изгибающий момент принимают равным наибольшему моменту в пределах средней трети длины панели пояса.

Расчет на прочность стержневых элементов, подверженных действию осевой силы с изгибом, выполняют по формуле:

$$\sqrt{[N / (A_n \gamma_c R_y)]^3 + M / (C W_n \gamma_c R_y)} \leq 1, \quad (23)$$

где C – коэффициент для расчета на прочность с учетом развития пластических деформаций при изгибе, $C = 1,04 \dots 1,19$; W_n – момент сопротивления сечения «нетто».

Расчет на устойчивость сжато-изгибаемых элементов в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии, производят по формуле:

$$\sigma / (\gamma_c R_y) = N / (\varphi_e A \gamma_c R_y) \leq 1, \quad (24)$$

Табл. 3. Нормативные и расчетные сопротивления стали, сварных и болтовых соединений, МПа (кгс/см²)

Сталь	Вид проката	Толщина, мм	R _{yn}	R _{yn}	R _{min}	R _y	R _p	R _s	R _{wz}	R _{bp}
С 235	Лист, фасон	0,5...20	235 (2350)	350 (3500)	350 (3500)	230 (2300)	350 (3500)	135 (1350)	160 (1600)	475 (4750)
	Лист, фасон	21...40	225 (2250)	360 (3600)	360 (3600)	220 (2200)	350 (3500)	125 (1250)	160 (1600)	475 (4750)
	Лист	41...100	215 (2150)	360 (3600)	360 (3600)	210 (2100)	350 (3500)	120 (1200)	160 (1600)	475 (4750)
С 245	Лист, фасон	2...20	245 (2450)	370 (3700)	370 (3700)	240 (2400)	360 (3600)	140 (1400)	165 (1650)	485 (4850)
	Фасон	21...30	235 (2350)	370 (3700)	370 (3700)	230 (2300)	360 (3600)	135 (1350)	165 (1650)	485 (4850)
С 255	Лист	4...10	245 (2450)	380 (3800)	380 (3800)	240 (2400)	370 (3700)	140 (1400)	170 (1700)	500 (5000)
	Фасон	4...10	255 (2550)	380 (3800)	380 (3800)	250 (2500)	370 (3700)	145 (1450)	170 (1700)	500 (5000)
	Лист	11...20	245 (2450)	370 (3700)	370 (3700)	240 (2400)	360 (3600)	140 (1400)	165 (1650)	485 (4850)
	Фасон	21...40	235 (2350)	370 (3700)	370 (3700)	230 (2300)	360 (3600)	135 (1350)	165 (1650)	485 (4850)
С 275	Лист, фасон	2...10	275 (2750)	380 (3800)	380 (3800)	270 (2700)	370 (3700)	155 (1550)	155 (1550)	500 (5000)
	Лист	11...20	265 (2650)	370 (3700)	370 (3700)	260 (2600)	360 (3600)	150 (1500)	165 (1650)	485 (4850)
	Фасон	11...20	275 (2750)	380 (3800)	380 (3800)	270 (2700)	370 (3700)	155 (1550)	170 (1700)	500 (5000)
С 285	Лист	4...10	275 (2750)	390 (3900)	390 (3900)	270 (2700)	380 (3800)	155 (1550)	175 (1750)	515 (5150)
	Лист	11...20	265 (2650)	380 (3800)	380 (3800)	260 (2600)	370 (3700)	150 (1500)	170 (1700)	500 (5000)
	Фасон	4...10	285 (2850)	400 (4000)	400 (4000)	280 (2800)	390 (3900)	160 (1600)	180 (1800)	525 (5250)
	Фасон	11...20	275 (2750)	390 (3900)	390 (3900)	270 (2700)	380 (3800)	155 (1550)	175 (1750)	515 (5150)
С 345	Лист, фасон	2...10	345 (3450)	490 (4900)	490 (4900)	335 (3350)	480 (4800)	195 (1950)	220 (2200)	645 (6450)
	Лист, фасон	11...20	325 (3250)	470 (4700)	470 (4700)	315 (3150)	460 (4600)	180 (1800)	210 (2100)	620 (6200)
	Лист, фасон	20...40	305 (3050)	460 (4600)	460 (4600)	300 (3000)	450 (4500)	175 (1750)	205 (2050)	605 (6050)
С 375	Лист, фасон	2...10	375 (3750)	510 (5100)	510 (5100)	365 (3650)	500 (5000)	210 (2100)	230 (2300)	670 (6700)
	Лист, фасон	11...20	355 (3550)	490 (4900)	490 (4900)	345 (3450)	480 (4800)	200 (2000)	220 (2200)	645 (6450)
	Лист, фасон	21...40	335 (3350)	480 (4800)	480 (4800)	335 (3350)	470 (4700)	190 (1900)	215 (2150)	630 (6300)
	Лист	4...50	390 (3900)	540 (5400)	540 (5400)	380 (3800)	525 (5250)	220 (2200)	245 (2450)	710 (7100)
С 440	Лист	4...30	440 (4800)	590 (5900)	590 (5900)	430 (4300)	575 (5750)	250 (2500)	265 (2650)	775 (7750)
	Лист	31...50	410 (4700)	570 (5700)	570 (5700)	400 (4000)	555 (5550)	230 (2300)	255 (2550)	750 (7500)
С 590	Лист	10...36	540 (4800)	635 (6350)	635 (6350)	515 (5150)	620 (6200)	300 (3000)	285 (2850)	830 (8300)

Примечания:

1. Для сталей С 345 и С 375 характеристики листового и фасонного проката совпадают.
2. Из сталей С 390, С 440, С 590 фасонный прокат не выпускают.
3. Для характеристик приняты обозначения: R_{yn} – нормативное сопротивление по пределу текучести, R_{min} – нормативное сопротивление по пределу прочности (по временному сопротивлению), R_y – расчетное сопротивление по пределу текучести, R_p – расчетное сопротивление смятию торцевой поверхности (при наличии пригонки), R_s – расчетное сопротивление срезу, R_{wz} – расчетное сопротивление зоны сплавления, R_{bp} – расчетное сопротивление смятию в болтовом соединении.

где φ_e – коэффициент снижения расчетного сопротивления при внецентренном сжатии.

Значения коэффициентов φ_e определяют по табл. 4 в зависимости от условной гибкости $\bar{\lambda}$ и приведенного относительного эксцентриситета m_{ef} , вычисляемого по формуле:

$$m_{ef} = \eta m, \quad (25)$$

где η – коэффициент влияния формы сечения (табл. 5); m – относительный эксцентриситет, равный

$$m = eA / W_c; \quad (26)$$

здесь e – абсолютный эксцентриситет, $e = M/N$; W_c – момент сопротивления сечения для сжатого волокна.

Для определения значения коэффициента η сечение уголка при его изгибе в плоскости симметрии можно рассматривать как сплошное прямоугольное с высотой $h_0 = 0,707b_0$, где b_0 – ширина полки уголка. При этом расчетная длина стержневого элемента принимается равной $l_{ef} = 0,6l_0$, где l_0 – расстояние между центрами узлов.

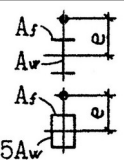
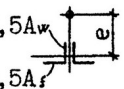
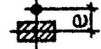
Табл. 4. Значения коэффициента φ_e для сжато-изгибаемых элементов

$\bar{\lambda}$	Значение φ_e при эксцентриситете m_{ef}													
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
0,5	967	922	850	782	722	669	620	577	538	469	417	370	337	307
1,0	925	854	778	711	653	600	563	520	484	427	382	341	307	283
1,5	875	804	716	647	593	548	507	470	439	388	347	312	283	262
2,0	813	742	653	587	536	496	457	425	397	352	315	286	260	240
2,5	742	672	587	526	480	442	410	383	357	317	287	262	238	220
3,0	667	597	520	465	425	395	365	342	320	287	260	238	217	202
3,5	587	522	455	408	375	350	325	303	287	258	233	216	198	183
4,0	505	447	394	356	330	309	289	270	256	232	212	197	181	168
4,5	418	382	342	310	288	272	257	242	229	208	192	178	165	155
5,0	354	326	295	273	253	239	225	215	205	188	175	162	150	143
5,5	302	280	256	240	224	212	200	192	184	170	158	148	138	132
6,0	258	244	223	210	198	190	178	172	166	153	145	137	128	120
6,5	223	213	196	185	176	170	160	155	149	140	132	125	117	112
7,0	194	186	173	163	157	152	145	141	136	127	121	115	108	102
8,0	152	146	138	133	128	121	117	115	113	106	100	095	091	087
9,0	122	117	112	107	103	100	098	096	093	088	085	082	079	075
10,0	100	097	093	091	090	085	081	079	076	072	070	069	068	065
11,0	083	079	077	076	075	073	071	069	068	063	062	061	060	057
12,0	069	067	064	063	062	060	059	059	058	055	054	053	052	051
13,0	062	061	054	053	052	051	050	049	049	048	048	047	046	045
14,0	052	049	049	048	048	047	047	046	045	044	043	043	042	041

Примечания:

1. Значения φ_e увеличены в 1000 раз.
2. Значения φ_e принимать не больше значений φ .

Табл. 5. Значения коэффициента влияния формы сечения

Схема сечения	A_f/A_w	Значения η при		
		$0 \leq \bar{\lambda} \leq 5$		$\bar{\lambda} > 5$
		$0,1 \leq m \leq 5$	$5 < m \leq 20$	$0,1 < m \leq 20$
	0,25	$(1,45-0,05m)-0,01(5-m) \bar{\lambda}$	1,2	1,2
	0,5	$(1,75-0,1m)-0,02(5-m) \bar{\lambda}$	1,25	1,25
	$\geq 0,1$	$(1,90-0,1m)-0,02(6-m) \bar{\lambda}$	$1,4-0,02\lambda$	1,3
	0,5	$(1,25-0,05m)-0,01(5-m) \bar{\lambda}$	1,0	1,0
	$\geq 0,1$	$(1,50-0,1m)-0,02(5-m) \bar{\lambda}$	1,0	1,0
	-	1,0	1,0	1,0

Упрощенный расчет сжато-изгибаемых элементов можно выполнять по формуле:

$$N / (\varphi A \gamma_c R_y) + M / (W_c \gamma_c R_y) \leq 1. \quad (27)$$

Гибкости стержневых элементов не должны превышать значений предельной гибкости:

$\lambda_u = 180 - 60\alpha$ – для сжатых поясов, сжатых опорных раскосов и стоек, передающих опорные реакции, где $\alpha = N / (\varphi A \gamma_c R_y) \geq 0,5$ или $\alpha = N / (\varphi_e A \gamma_c R_y) \geq 0,5$;

$\lambda_u = 210 - 60\alpha$ – для прочих сжатых элементов ферм;

$\lambda_u = 200$ – для сжатых элементов связей;

$\lambda_u = 250$ – для растянутых поясов и растянутых опорных раскосов при динамических нагрузках, приложенных непосредственно к конструкции;

$\lambda_u = 400$ – то же при статических нагрузках;

$\lambda_u = 350$ – для прочих растянутых элементов ферм при динамических нагрузках;

$\lambda_u = 400$ – то же при статических нагрузках;

$\lambda_u = 400$ – для растянутых элементов связей.

Расчет на устойчивость сжато-изгибаемых элементов из плоскости действия момента при изгибе их в плоскости наибольшей жесткости ($I_y < I_x$), совпадающей с плоскостью симметрии, можно не выполнять, если верхние пояса стальных ферм покрытий, нагружаемые профилированным настилом, раскреплены им из плоскости фермы по всей длине пролета.

Расчет на устойчивость сжато-изгибаемых элементов выполнять не требуется при $m_{ef} \leq 20$, отсутствии ослабления сечения и одинаковых значениях изгибающих моментов, принимаемых в расчетах на прочность и

устойчивость. При $20 < m_{ef}$ расчет на устойчивость не требуется, и расчет выполняется как для изгибающих элементов.

Изгибающими элементами в прогонных покрытиях являются стержневые элементы прогонов, которые работают как разрезные однопролетные балки под равномерно распределенной нагрузкой. Их расчет выполняют по формулам:

- на прочность

$$\sigma_m / (\gamma_c R_{ym}) = M_m / (W_m A \gamma_c R_{ym}) = q l_m^2 / (8 W_m \gamma_c R_{ym}) \leq 1; \quad (28)$$

- на деформативность (жесткость)

$$f_m = 5 q_n l_m^4 / (384 E I_m) \leq f_{mu} = l_m / 200, \quad (29)$$

где σ_m – нормальное напряжение в сечении прогона; M_m – наибольшее значение изгибающего момента в прогоне, $M_m = q l_m^2 / 8$; l_m – пролет прогона; q и q_n – соответственно расчетное и нормативное значения равномерно распределенной погонной (линейной) нагрузки; W_m и I_m – соответственно момент сопротивления и момент инерции сечения прогона; f_m и f_{mu} – соответственно расчетное и предельно допустимое значения прогиба прогона.

При подборе сечений сжатых стержневых элементов с использованием формулы (19) в качестве первого приближения значения коэффициента продольного изгиба рекомендуется принимать:

$\varphi = 0,45 \dots 0,65$ – для внецентренного сжатия;

$\varphi = 0,65 \dots 0,85$ – для центрального сжатия.

4.4. Расчет монтажных соединений

Монтажные стыки растянутых поясов стальных ферм покрытий на фланцах (рис. 5) проверяют расчетом на прочность:

- болтов;
- фланцев на изгиб;
- соединения при воздействии поперечных сил;
- сварного соединения фланца с профилем.

Болтовые соединения располагают безмоментно относительно центра тяжести сечения, как можно ближе к нему и с учетом минимально допустимых расстояний от профиля до оси болта b_e и от оси до края фланца c_e в зависимости от диаметра болта d_e (табл. 6).

Табл. 6. Минимальные расстояния от оси болта до элемента и края фланца

d_e , мм	16	18-20	22	24	27	30	36	42	48
b_e , мм	35	40	45	50	55	60	75	85	100
c_e , мм	25	30	35	40	45	50	55	65	75

Прочность болтов фланцевых соединений элементов замкнутого профиля (рис. 10, а) обеспечена, если

$$F/(0,9n_b N_{bt}) \leq I, \quad (30)$$

где F - внешнее усилие на фланцевое соединение, равное продольному усилию поясного элемента; n_b - общее число болтов; N_{bt} - расчетное усилие, воспринимаемое одним болтом на растяжение и вычисляемое по формуле

$$N_{bt} = R_{bt} A_{bn}, \quad (31)$$

где R_{bt} - расчетное сопротивление болтовых соединений растяжению, (табл.7) A_{bn} - площадь сечения «нетто» болта (табл. 8).

Во фланцевых стыках типа Б (без предварительного натяжения болтов) болтовые соединения могут испытывать не только растягивающие, но и срезающее воздействия. Поэтому каждый из болтов должен быть проверен расчетом:

- из условия прочности на срез

$$N_{cs} = R_{cs} \mathcal{Y}'_B A_b n_s; \quad (32)$$

- из условия прочности на смятие

$$N_{cp} = R_{cp} \mathcal{Y}'_B d_b (\sum t)_{min}, \quad (33)$$

где R_{bt} и R_{bp} - расчетные сопротивления болтовых соединений соответственно срезу (табл. 7) и смятию (табл. 3); d_b и A_b - соответственно наружный диаметр и расчетная площадь сечения болта (табл. 8); $(\sum t)_{min}$ - наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении; n_s - число расчетных срезов одного болта; \mathcal{Y}'_s - коэффициент условий работы болтового соединения, при равенстве растягивающих и срезающих усилий $\mathcal{Y}'_s = 0,85$, в остальных случаях $\mathcal{Y}'_s = 0,9$.

Табл. 7. Расчетные сопротивления растяжению и срезу болтов

Обозначения	Расчетное сопротивление, МПа (кгс/см ²), болтов классов						
	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	8.8	10.9
R_{bt}	170 (1700)	160 (1600)	210 (2100)	200 (2000)	250 (2500)	400 (4000)	500 (5000)
R_{bs}	150 (1500)	160 (1600)	190 (1900)	200 (2000)	230 (2300)	320 (3200)	400 (4000)

Табл. 8. Площади сечения болтов

d_b , мм	16	18	20	22	24	27	30	36	42	48
A_{bn} ,	1,75	1,92	2,45	3,03	3,52	4,59	5,60	8,16	11,20	14,72

см ²										
A_b , см ²	2,01	2,54	3,14	3,80	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09

Болты фланцевых соединений элементов открытого профиля (рис. 10, б) рассчитывают с учетом неравномерности распределения внешних усилий между болтами наружной и внутренней зон. Прочность фланца и болтов, относящихся к внутренней зоне, обеспечена, если толщина фланца $t_{fl}=20\dots 40$ мм, болты расположены с учетом минимально допустимых расстояний, а нагрузка на болт от действия внешних усилий не превышает $0,9N_{bi}$. Прочность всех болтов фланцевого соединения обеспечена, если

$$F/[0,9N_{bi}(n_{bi}+n_{be}/k_b)]\leq 1, \quad (34)$$

где n_{bi} и n_{be} – число болтов соответственно наружной и внутренней зон; k_b – отношение внешнего усилия на один болт внутренней зоны к внешнему усилию на один болт наружной зоны, $k_b=N_{bi}/N_{be}$ (табл. 9).

Табл. 9. Значения отношения внешнего усилия на один болт внутренней зоны к внешнему усилию на один болт наружной зоны

d_b , мм	t_{fl} , мм	$k_b=N_{bi}/N_{be}$
M20	16	2,5
	20	1,7
	25	1,4
	30	1,2
M24	20	2,6
	25	1,8
	30	1,5
	40	1,1
M27	25	2,1
	30	1,7
	40	1,3

При конструировании фланцевых соединений рекомендуются следующие сочетания диаметров болтов и толщин фланцев: M20 - $t_{fl}=20$ мм; M24 - $t_{fl}=25$ мм; M27 - $t_{fl}=30$ мм.

Во фланцевых соединениях типа А усилие предварительного напряжения болтов должно быть на 10% больше усилия в стыке при расчетных нагрузках.

Прочность фланцев на изгиб обеспечена, если

$$\sigma_{fl}/(\gamma_c R_{yfl})=M/(W_{fl} \gamma_c R_{yfl})\leq 1, \quad (35)$$

где \mathcal{Y}_c - коэффициент условий работы, $\mathcal{Y}_c = 1$; σ_n , W_{fl} и R_{yfl} - соответственно нормальное напряжение, расчетное сопротивление стали и момент сопротивления сечения фланца; M - наибольшее значение расчетного изгибающего момента.

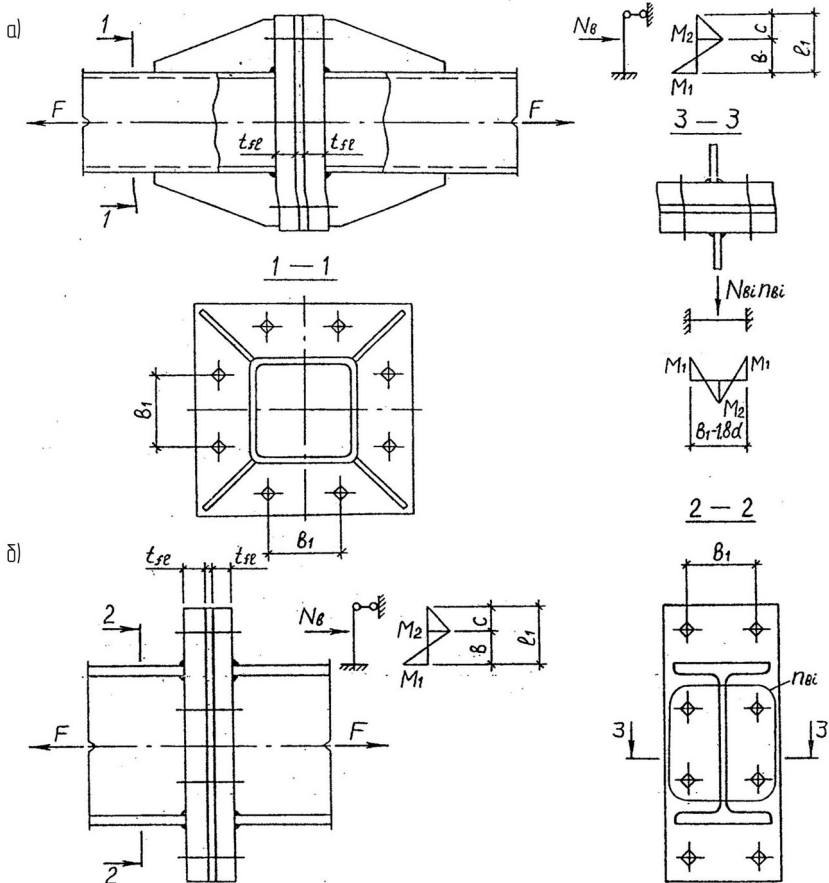


Рис. 10. Схемы монтажных стыков стальных ферм из замкнутых (а) и открытых (б) профилей.

Во фланцевых соединениях элементов замкнутого профиля, а также в наружной зоне соединений элементов открытого профиля изгибающие моменты фланцев можно определять по условной расчетной схеме, как в

балке, защемленной со стороны пояса, шарнирно опертой по кромке фланца и нагруженной усилием в болте N_b (рис. 10):

$$M_1 = N_b l_1 b_b (l_1 + c_b) / (3l_1^2 - c_b^2);$$

$$M_2 = N_b b^2 b (3l_1 - b_b) / (3l_1^2 - c_b^2), \quad (36)$$

где $N_b \leq 0,9N_{bt}$; l_1 - пролет балки, $l_1 = b_b + c_b$; b_b и c_b - минимально допустимые расстояния (табл. 6).

В такой расчетной схеме момент сопротивления сечения фланца с учетом развития неупругих деформаций вычисляют по формуле:

$$W_{fl} = b_1 t_{fl}^2 / 4, \quad (37)$$

где b_1 - шаг болтов.

Во внутренней зоне фланцевых соединений элементов открытых профилей изгибающие моменты фланцев определяют, принимая расчетную схему, как для балки, защемленной в опорах (рис. 10, б, разрез 3-3):

$$M_1 = M_2 = N_{bi} n_{bi} (b_1 - l, 8d_b) / 8, \quad (38)$$

где $N_{bi} \leq 0,9N_{bt}$.

В этом случае момент сопротивления сечения фланца вычисляют без учета развития неупругих деформаций по формуле:

$$W_{fl} = h_i t_{fl}^2 / 6, \quad (39)$$

где h_i - высота внутренней зоны, $h_i = h - 2t_f$; h и t_f - соответственно высота сечения и толщина полки профиля пояса.

Прочность фланцевого соединения на действие местной поперечной силы Q_{loc} проверяют по формуле:

$$Q_{loc} / (\mu \sum_{j=1}^n R_j) \leq 1, \quad (40)$$

где n - число болтов наружной зоны для фланцевых соединений элементов открытого профиля или общее число болтов для соединений элементов замкнутого профиля; μ - коэффициент трения соединяемых поверхностей, зависящий от способа их обработки, без обработки $\mu = 0,25$, при обработке $\mu = 0,35 \dots 0,58$; R_i - контактное усилие, принимаемое $R_j = 0,1N_b \leq 0,09N_{bt}$ для фланцевых соединений элементов замкнутого профиля и $R_j = N_{bt}(1 - l/k_b)$ для соединений элементов открыто профиля. При отсутствии местной поперечной силы в расчет вводят условное значение $Q_{loc} = 0,1\mu F$.

Прочность сварных швов прикрепления фланцев к элементам поясов обеспечена, если:

- по металлу шва

$$F / (\beta_f k_f l_w R_{wf} \mathcal{Y}_{wf} \mathcal{Y}'_c) \leq 1; \quad (41)$$

- по металлу границы сплавления с элементом пояса

$$F / (\beta_z k_z l_w R_{wz} \mathcal{Y}_{wz} \mathcal{Y}'_c) \leq 1; \quad (42)$$

- по металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката

$$F/(\beta_z k_{fl} l_w R_{th} \mathcal{Y}_{wz} \mathcal{Y}_c) \leq I, \quad (43)$$

где k_f - катет углового шва, $k_f \leq 1,2 t_{min}$ (t_{min} – наименьшая толщина соединяемых элементов); l_w – расчетная длина шва, принимаемая меньше его полной длины на 10 мм; β_f – коэффициент для расчета углового шва по металлу шва, $\beta_f = 0,7 \dots 1,1$ (при ручной и полуавтоматической сварке $\beta_f = 0,7$); R_{wf} – расчетное сопротивление угловых швов условному срезу по металлу шва, для электродов Э42 (Э42А), Э46 (Э46А), Э50 (Э50А), Э60, Э70, Э85 соответственно $R_{wf} = 180$ МПа (1800 кгс/см²), 200 (2000), 215 (2150), 240 (2400), 280 (2800), 340 (3400); $\mathcal{Y}_{wf} = 1$ (для районов с плохими климатическими условиями $\mathcal{Y}_{wf} = 0,85$); \mathcal{Y}_c - коэффициент условий работы конструкции; β_z – коэффициент для расчета углового шва границы сплавления, $\beta_z = 1 \dots 1,15$; R_{wz} – расчетное сопротивление зоны сплавления (табл. 3); \mathcal{Y}_{wz} – то же, что и \mathcal{Y}_{wf} ; R_{th} – расчетное сопротивление стали растяжению в направлении толщины проката, $R_{th} = 0,5 R_y$.

Во фланцевых соединениях элементов замкнутого профиля для обеспечения необходимой длины сварных швов, как правило, используют дополнительные элементы в виде ребер из листового проката. Ребро должно иметь длину 1,5 меньшей стороны профиля (но не менее 200 мм) и толщину не более 1,2 толщины профиля.

В сжатых соединениях на фланцах последние, как правило, в 1,5...2 раза тоньше, чем в растянутых. При этом опорный фланец, через который опорное давление фермы передается на поддерживающую конструкцию, должен быть проверен расчетом из условия прочности на смятие:

$$V/(b_{fl} t_{fl} \mathcal{Y}_c R_p) \leq I, \quad (44)$$

где V – опорное давление (опорная реакция) фермы; b_{fl} и t_{fl} – соответственно ширина и толщина фланца; \mathcal{Y}_c – коэффициент условий работы, $\mathcal{Y}_c = 1$; R_p – расчетное сопротивление стали смятию торцевой поверхности (табл. 3).

4.5. Определение прогибов и оценка деформативности

Несущая способность стальных ферм покрытий по деформативности (по второй группе предельных состояний) обеспечена, если

$$f \leq f_u, \quad (45)$$

где f – наибольший расчетный прогиб фермы от действия нормативной нагрузки; f_u – предельно допустимый прогиб, $f_u = l/250$ при $l < 36$ м, $f_u = l/300$ при $l \geq 36$ м; l – пролет ферм.

Прогиб фермы f можно вычислять по формуле:

$$f = k_{fp} k_{fu} f_b, \quad (46)$$

где k_{fp} - коэффициент влияния податливости решетки, $k_{fp} = 1 + 2,4h/l$; k_{fu} - коэффициент влияния податливости монтажных соединений, для фланцевых соединений с предварительным натяжением высокопрочных болтов (тип А)

$k_{ju} = 1$, без напряжения (тип Б) $k_{ju} = 1,1$; f_B – балочный прогиб; h – высота фермы.

Балочный прогиб f_B можно определить, используя балочный аналог фермы (рис. 11) и принцип суперпозиции (принцип независимости действия сил):

$$f_B = k_I \sum_{i=1}^n f_{Bi} = k_I \left(F_i a_i \frac{3l^2 - 4a_i^2}{48EI} \right), \quad (47)$$

где k_I – коэффициент влияния изменения момента инерции сечения фермы по длине пролета; n – число узловых нормативных нагрузок F_i ; f_{Bi} – прогиб в середине пролета от i -ой узловой нормативной нагрузки; a_i – расстояние от опоры до точки приложения силы F_i ; E – модуль продольной упругости, $E=210000$ МПа (2100000 кгс/см²); I – момент инерции сечения фермы в середине пролета.

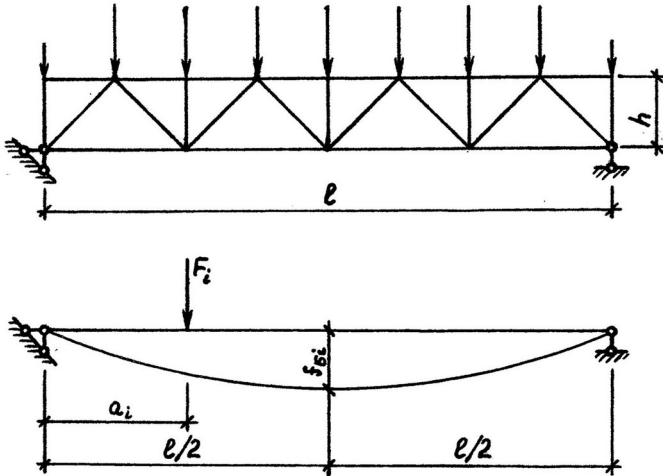


Рис. 11. Расчетные схемы для определения прогиба фермы.

Коэффициент k_I можно определять по формуле:

$$k_I = \frac{\sum (I_i l_i)_{ВП} + \sum (I_i l_i)_{НП}}{(I_{\max} l)_{ВП} + (I_{\max} l)_{НП}}, \quad (48)$$

где $I_{i,вп}$ и $I_{i,нп}$ – моменты сечений i -ой панели соответственно верхнего и нижнего поясов; l_i – длина i -ой панели поясов; $I_{\max,вп}$ и $I_{\max,нп}$ – наибольшие

моменты инерции сечений соответственно верхнего и нижнего поясов; $I_{\text{вп}}$ и $I_{\text{нп}}$ - длины соответственно верхнего и нижнего поясов.

5. ПРИМЕР РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАЛЬНОЙ ФЕРМЫ ПОКРЫТИЯ

5.1. Исходные данные

Вариант 0

Расчитать и спроектировать стальную ферму покрытия. Проектное задание включает следующие исходные данные:

- а) пролет (расстояние между опорами) фермы – $l=42$ м;*
- б) расстояние (шаг) между соседними фермами в покрытии – $b=6$ м;*
- в) снеговой район по нагрузке $S - III$;*
- г) малоуклонная конструкция кровельного ограждения – $i=2,5\%$;*

д) технологическое требование расчленения стальной фермы на минимальное число отправокных марок полной заводской готовности с монтажными стыками на болтовых соединениях без сварки.

Рассматриваемая стальная ферма покрытия имеет пролет $l=42$ м. Шаг фермы (расстояние между фермами) составляет $b=6$ м. Место строительства относится к третьему району по снеговой нагрузке. Подвеска подъемно-транспортного и другого технологического оборудования не предусмотрена, поэтому высота фермы в соответствии с формулой (2) принята $h=l/12=42/12=3,5$ м, а нормируемый предельный прогиб – $f_u = l/300 = 4200/300 = 14,0$ см при $l > 36$ м.

Ферма включает параллельные пояса, треугольную систему решетки с дополнительными стойками и состоит из трех отправокных марок. Две из них имеют длину 18 м и строительный подъем, обеспечивающий двухскатному покрытию уклон $i = 0,025$ (2,5%). Между этими марками расположена горизонтальная ($i = 0$) 6-метровая вставка. Отправочные марки стыкуются между собой при помощи болтовых соединений на фланцах. Монтажные стыки собведены с узлами, имеющими изломы поясов, и включают соединения дополнительных стержневых элементов решетки.

Стальная ферма покрытия изготовлена из замкнутых гнutosварных профилей прямоугольного сечения. Их заводские соединения конструктивно оформлены в виде бесфасоночных узлов и выполнены полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа: сварочный материал - проволока марки Св 08Г2С с расчетным сопротивлением металла угловых швов $R_{wf} = 200$ МПа (2000 кгс/см²). В качестве основного конструкционного материала приняты малоуглеродистая сталь С245 (марки ВСт3сп5) с расчетным сопротивлением по пределу текучести $R_y = 240$ МПа (2400 кгс/см²) при толщине проката $t = 4...20$ мм и низколегированная сталь С345 (марки 09Г2С) с $R_y = 335$ МПа (3350 кгс/см²) при $t = 2...10$ мм и $R_y = 315$ МПа (3150 кгс/см²) при $t = 10...20$ мм, а также для растянутых фланцев – сталь С390 (марки 14Г2АФ) с $R_y = 380$ МПа (3800 кгс/см²) при $t = 4...50$ мм.

Нормативное значение нагрузки от собственного веса стальной фермы покрытия вычислено по формулам (5) и (6)

$$m_s = k_m l = (0,4 \dots 0,8) 42 = 16,8 \dots 33,6 \text{ кг/м}^2;$$

$$m = \psi'_m m_s = (1,03 \dots 1,05)(16,8 \dots 33,6) = 17,3 \dots 35,3 \text{ кг/м}^2$$

и в расчете принято равным 35 кгс/м².

Дальнейший сбор расчетной нагрузки с использованием данных табл. 1 приведен в табл. 10.

Табл. 10. Определение расчетной нагрузки, кН/м² (кгс/м²)

Нагрузка	Нормативное значение	Коэффициент надежности	Расчетное значение
Вес:			
снега	1,26 (126)	0,7*	1,80 (180)
гравийной защиты	0,40 (40)	1,3	0,52 (52)
рулонного ковра	0,16 (16)	1,3	0,21 (21)
утеплителя	0,25 (25)	1,2	0,3 (30)
пароизоляции	0,04 (4)	1,2	0,048 (4,8)
настила	0,1 (10)	1,05	0,11 (11)
прогонов	0,03 (3)	1,05	0,04 (4)
связей	0,02 (2)	1,05	0,03 (3)
фермы	0,35 (35)	1,05	0,37 (37)
Итого	2,61 (261)		3,43 (343)
* См. табл. 2. Вес снегового покрова.			

Определив нормативное и расчетное значения действующей на ферму нагрузки, следует вычислить ее минимальную высоту из условия жесткости по формуле (3):

$$h_{\min} = \frac{6,5 \sigma_n l}{24E} (l / f_u) (1 + 2,4h / l) = \frac{6,5(p_n / p) R_y l}{24E} (l / f_u) (1 + 2,4h / l) =$$

$$= \frac{6,5(2,61 / 3,43) 240 \cdot 42}{24 \cdot 210000} (42 / 0,140) (1 + 2,4 \cdot 3,5 / 42) = 3,56 \text{ м},$$

где $\sigma_n = (p_n/p)R_y$, так как условие жесткости проверяется при действии нормативной нагрузки; $p_n = 2,61 \text{ кН/м}^2$ – нормативная нагрузка; $p = 3,43 \text{ кН/м}^2$ – расчетная нагрузка; $R_y = 240 \text{ МПа}$ и $E = 210000 \text{ МПа}$ – соответственно сопротивление и модуль упругости стали.

Как видно, $h_{\min} = 3,56 \text{ м} = l/11,80 \approx h = 3,5 \text{ м} = l/12$, и принятое в расчете значение высоты фермы не нуждается в корректировке.

5.2. Статический расчет плоской фермы

Нагрузка, действующая на стальную ферму покрытия, собирается с грузовой полосы шириной $b = 6$ м и составляет:

$$q_n = p_n b = 2,61 \cdot 6 = 15,66 \text{ кН/м} - \text{нормативная погонная};$$

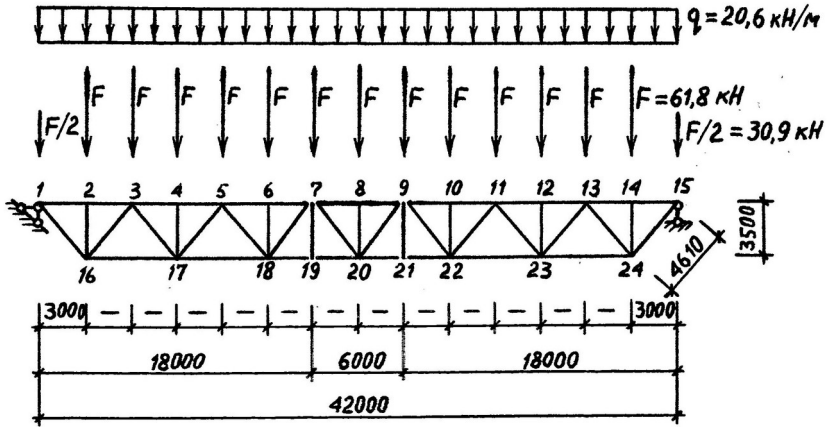
$$q = p b = 3,43 \cdot 6 = 20,6 \text{ кН/м} - \text{расчетная погонная}.$$

Конструкции покрытия включают прогоны, которые передают погонную нагрузку на ферму через ее верхние узлы (рис. 12, а):

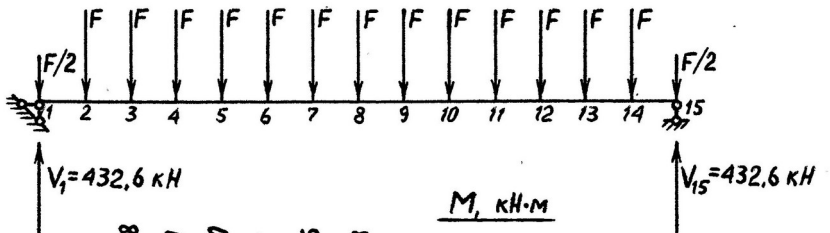
$$F_n = q_n d = 15,66 \cdot 3 = 46,98 = 47,0 \text{ кН} - \text{нормативная узловая};$$

$$F = q d = 20,6 \cdot 3 = 61,8 \text{ кН} - \text{расчетная узловая}.$$

а)



б)



в)

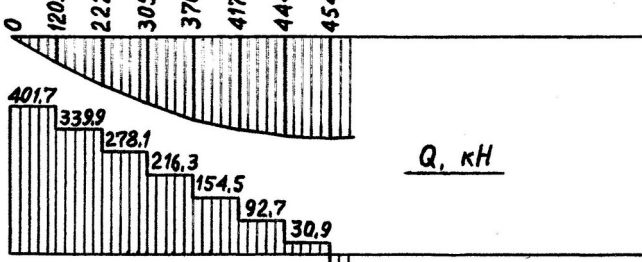


Рис. 12. Схемы для статического расчета фермы: а – нагрузка на ферму; б – балочный аналог фермы; в – эпюры изгибающих моментов поперечных сил.

Для статического расчета плоской фермы можно использовать ее балочный аналог (рис. 12, б) с опорными реакциями

$$V_1 = V_{15} = \sum_{i=1}^{15} F_i/2 = ql/2 = 20,6 \cdot 42/2 = 432,6 \text{ кН.}$$

Изгибающие моменты от действия нагрузок составляют:

$$M_1 = M_{15} = 0;$$

$$M_2 = M_{14} = (V_1 - F/2)d = (432,6 - 30,9)3 = 1205,1 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_3 = M_{13} = (432,6 - 30,9)6 - 61,8 \cdot 3 = 2224,8 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_4 = M_{12} = (432,6 - 30,9)9 - 61,8 \cdot 6 - 61,8 \cdot 3 = 3059,1 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_5 = M_{11} = (432,6 - 30,9)12 - 61,8 \cdot 9 - 61,8 \cdot 6 - 61,8 \cdot 3 = 3708,0 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_6 = M_{10} = (432,6 - 30,9)15 - 61,8 \cdot 12 - 61,8 \cdot 9 - 61,8 \cdot 6 - 61,8 \cdot 3 = 4171,5 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_7 = M_9 = (432,6 - 30,9)18 - 61,8 \cdot 15 - 61,8 \cdot 12 - 61,8 \cdot 9 - 61,8 \cdot 6 - 61,8 \cdot 3 = 4449,6 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_8 = (432,6 - 30,9)21 - 61,8 \cdot 18 - 61,8 \cdot 15 - 61,8 \cdot 12 - 61,8 \cdot 9 - 61,8 \cdot 6 - 61,8 \cdot 3 = 4542,3 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Изгибающий момент M_8 действует в сечении балочного аналога фермы в середине пролета l и является наибольшим. При наличии 15 узловых нагрузок F и $F/2$ его целесообразно сравнить с аналогичным моментом от распределенной (погонной) нагрузки:

$$M_{\max} = ql^2/8 = 20,6 \cdot 42^2/8 = 4542,3 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Как видно, абсолютные значения сравниваемых моментов здесь полностью совпадают. Определенная разница между ними появляется при уменьшении числа узловых нагрузок (до 10...8 и меньше).

Поперечные силы от действия узловых нагрузок составляют:

$$Q_{1-2} = - Q_{14-15} = V_1 - F/2 = 432,6 - 30,9 = 401,7 \text{ кН};$$

$$Q_{2-3} = - Q_{13-14} = 432,6 - 30,9 - 61,8 = 339,9 \text{ кН};$$

$$Q_{3-4} = - Q_{12-13} = 432,6 - 30,9 - 61,8 - 61,8 = 278,1 \text{ кН};$$

$$Q_{4-5} = - Q_{11-12} = 432,6 - 30,9 - 61,8 - 61,8 - 61,8 = 216,3 \text{ кН};$$

$$Q_{5-6} = - Q_{10-11} = 432,6 - 30,9 - 61,8 - 61,8 - 61,8 - 61,8 = 154,5 \text{ кН};$$

$$Q_{6-7} = - Q_{9-10} = 432,6 - 30,9 - 61,8 - 61,8 - 61,8 - 61,8 - 61,8 = 92,7 \text{ кН};$$

$$Q_{7-8} = - Q_{8-9} = 432,6 - 30,9 - 61,8 - 61,8 - 61,8 - 61,8 - 61,8 - 61,8 = 30,9 \text{ кН.}$$

Значения продольных сил в поясных элементах вычислены по формуле (8):

$$N_{1-2} = N_{2-3} = - M_2/h = - 1205,1/3,5 = - 344,3 \text{ кН};$$

$$N_{3-4} = N_{4-5} = - M_4/h = - 3059,1/3,5 = - 874,0 \text{ кН};$$

$$N_{5-6} = N_{6-7} = - M_6/h = - 4171,5/3,5 = - 1192 \text{ кН};$$

$$N_{7-8} = N_{8-9} = - M_8/h = - 4542,3/3,5 = - 1298 \text{ кН};$$

$$N_{16-17} = M_3/h = 2224,8/3,5 = 635,7 \text{ кН};$$

$$N_{17-18} = M_5/h = 3708,0/3,5 = 1059 \text{ кН};$$

$$N_{18-19} = N_{19-20} = M_7/h = 4449,6/3,5 = 1271 \text{ кН},$$

где знак минус обозначает усилия сжатия (верхний пояс), а знак плюс – усилия растяжения (нижний пояс).

Продольные усилия в раскосных элементах решетки найдены по формуле (9):

$$N_{1-16} = Q_{1-2}/\cos\beta = 401,7/0,7592 = 529,1 \text{ кН};$$

$$N_{3-16} = Q_{2-3}/\cos\beta = -339,9/0,7592 = -447,7 \text{ кН};$$

$$N_{3-17} = Q_{3-4}/\cos\beta = 278,1/0,7592 = 366,3 \text{ кН};$$

$$N_{5-17} = Q_{4-5}/\cos\beta = -216,3/0,7592 = -284,9 \text{ кН};$$

$$N_{5-18} = Q_{5-6}/\cos\beta = 154,5/0,7592 = 203,5 \text{ кН};$$

$$N_{7-18} = Q_{6-7}/\cos\beta = -92,7/0,7592 = -122,1 \text{ кН};$$

$$N_{7-20} = Q_{7-8}/\cos\beta = 30,9/0,7592 = 40,7 \text{ кН},$$

где $\cos\beta = h/d_s = 3,5/4,61 = 0,7592$; $d_s = 4,61\text{ м}$ – длина раскоса (при уклоне $i=0$).

Стержневые элементы стоек решетки испытывают сжатие, величина которого определяется значением узловых нагрузок:

$$N_{2-16} = N_{4-17} = N_{6-18} = N_{8-20} = -F = -61,8 \text{ кН}.$$

Усилия в узлах от излома нижнего пояса воспринимаются дополнительными стержнями решетки, каждый из которых работает на растяжение, вычисляемое по формуле (16), но без множителя 2:

$$N_{7-19} = N_{9-21} = N_{19-20} \sin\alpha = 1271 \cdot 0,0250 = 31,8 \text{ кН},$$

где при уклоне $i = 0,025$ (2,5%) угол наклона к горизонту $\alpha \approx \sin\alpha \approx \text{tg}\alpha = i$.

Результаты статического расчета фермы приведены на рис. 13.

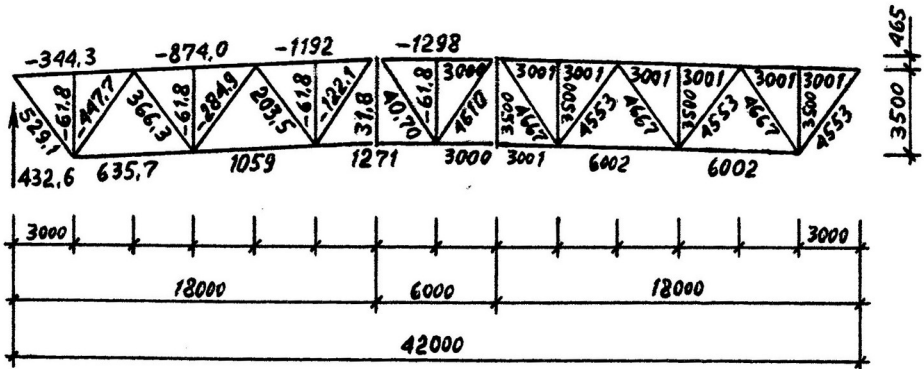


Рис. 13. Схема фермы с результатами ее статического расчета (усилия приведены в кН, размеры – в мм, знак плюс соответствует растяжению).

5.3. Унификация и расчет стержней

Стальная ферма покрытия собирается из симметричных отпавочных марок длиной 18 м и 6-метровой вставки между ними. Поэтому рационально сечения их поясных элементов подобрать по максимальным усилиям и унифицировать в пределах всего пролета. Высоту этих сечений, равно как и стержневых элементов решетки, необходимо ограничить $1/15 \dots 1/10$ длины, чтобы не учитывать дополнительные изгибающие моменты от жесткости сварных узлов фермы. В данном случае ограничительный размер высоты сечения стержней составляет $(1/15 \dots 1/10)d = (1/15 \dots 1/10)300 = 20 \dots 30$ см. Кроме того, в данном случае предпочтение отдано конструктивному решению фермы с использованием замкнутых профилей и их сопряжений без узловых фасонки.

Подбор сечений целесообразно начинать с растянутых стержневых элементов. Принимая в качестве конструктивного материала для нижнего пояса сталь С345 с расчетными сопротивлением по пределу текучести $R_y = 335$ МПа (3350 кгс/см²) при толщине проката $t = 2 \dots 10$ мм, из формулы (18) можно записать:

$$A_{\text{треб.}} = N / (\gamma_c R_y) = 127100 / (1 \cdot 3350) = 37,94 \text{ см}^2,$$

где $N = 1271$ кН ($127,1$ тс = 127100 кгс) – наибольшее усилия растяжения в поясе.

По сортаменту квадратных профилей (приложение 1) можно принять стержневой элемент $\square 160 \times 7$ мм с расчетной площадью сечения $A = 42,84$ см², радиусами инерции $i_x = i_y = 6,25$ см и проверкой прочности

$$N / (\gamma_c R_y A) = 127100 / (1 \cdot 3350 \cdot 42,84) = 0,89 < 1.$$

Расчетная длина нижнего пояса в плоскости фермы определяется длиной его панелей, то есть расстоянием между узлами. За расчетную длину из плоскости фермы принимается расстояние между точками, закрепленными от перемещений в этом направлении при помощи элементов связей. В рассматриваемом случае $l_x = 300,1$ см и $l_y = 600,2$ см, а гибкость нижнего пояса $\lambda_y = 600,2 / 6,25 = 96,0$, что много меньше предельного допустимого значения.

Сжатые стержни верхнего пояса нагружены не менее нижнего. Если и для них принять сталь С345, то из условий устойчивости по формуле (19) последует, что

$$A_{\text{треб.}} = N / (\varphi \gamma_c R_y) = 129800 / (0,8 \cdot 1 \cdot 3350) = 48,43 \text{ см}^2,$$

где $N = 1298$ кН (129800 кгс) – наибольшее усилие сжатия в поясе; $\varphi = 0,8$ – коэффициент продольного изгиба для первого приближения.

Для повышения степени унификации при подборе сечения верхнего пояса желательно учесть поперечный размер уже принятого нижнего пояса. Поэтому из сортамента прямоугольных профилей (приложение 2) выбирается стержневой элемент $\square 200 \times 160 \times 7$ мм с $A = 48,44$ см² и радиусами инерции $i_x = 7,65$ см; $i_y = 6,43$ см.

При соответствующем креплении листов профилированного настила между собой и с прогонами покрытия образуется жесткий диск, который препятствует перемещению узлов верхнего пояса в направлении из плоскости фермы. Поэтому расчетная длина верхнего пояса $l_x = l_y = 300,0$ см, а его гибкость $\lambda_x = 300,0/7,65 = 39,2$ – в плоскости фермы, $\lambda_y = 300,0/6,43 = 46,7$ – из плоскости. Последний параметр имеет решающее значение при определении коэффициента продольного изгиба, вычисляемого в данном случае по формуле (20):

$$\varphi = 1 - 0,066 \bar{\lambda} \sqrt{\lambda} = 1 - 0,066 \cdot 1,87 \sqrt{1,87} = 0,831,$$

где $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E} = 46,7 \sqrt{335 / 210000} = 1,87 < 2,5$ – условная гибкость.

Проверка устойчивости верхнего пояса имеет вид:

$$N / (\varphi \gamma_c R_y A) = 129800 / (0,831 \cdot 3350 \cdot 48,44) = 0,96 < 1.$$

Для предотвращения продавливания пояса поперечный размер стержней решетки рекомендуется принимать не менее 0,6 ширины поясного элемента, то есть $0,6 \times 160 = 96$ мм. В качестве конструкционного материала стержневых элементов решетки принимается менее прочная, но более доступная по цене сталь С 245 с $R_y = 240$ МПа (2400 кгс/см^2) при $t = 4 \dots 20$ мм.

Из всех раскосов решетки наиболее нагружен опорный, который растянут усилием $N = 529,1$ кН (52910 кгс) и для которого из условия прочности по формуле (18)

$$A_{\text{треб.}} = N / (\gamma_c R_y) = 52910 / (1 \cdot 2400) = 22,05 \text{ см}^2.$$

По сортаменту квадратных профилей (приложение 1) подбирается стержневой элемент $\square 140 \times 5$ мм с $A = 27,0 \text{ см}^2$ и $i_x = i_y = 5,51$ см. Расчетная длина опорного раскоса в плоскости и из плоскости фермы $l_x = l_y = 455,3$ см, гибкость $\lambda = 455,3/5,51 = 82,6$, а проверка прочности показывает, что

$$N / (\gamma_c R_y A) = 52910 / (1 \cdot 2400 \cdot 27,0) = 0,82 < 1.$$

В одной ферме не должны применяться профили одинаковых размеров сечения, отличающиеся толщиной стенок менее чем на 2 мм. Согласно такому правилу, для следующего раскоса (второго после опорного) можно применить квадратный профиль $\square 140 \times 8$ мм. Рассматриваемый раскос является наиболее нагруженным из сжатых стержней решетки. Проверка его устойчивости по формуле (19) показывает, что

$$N / (\varphi \gamma_c R_y A) = 44770 / (0,678 \cdot 1 \cdot 2400 \cdot 42,24) = 0,65 < 1,$$

где $\varphi = 1,46 - 0,34 \lambda + 0,021 \lambda^2 = 1,46 - 0,34 \cdot 2,93 + 0,021 \cdot 2,93^2 = 0,678$ – коэффициент продольного изгиба, вычисленный по формуле (21); $\bar{\lambda} = 86,6 \sqrt{240 / 210000} = 2,93 < 4,5$ – условная гибкость; $\lambda = 466,7/5,39 = 86,6$ – расчетная гибкость; $i = 5,39$ см и $A = 42,24 \text{ см}^2$ – радиус инерции и расчетная площадь сечения профиля $\square 140 \times 8$ мм; $l_x = l_y = 466,7$ см – расчетная длина раскоса.

Остальные стержневые элементы решетки унифицируются и рассчитываются аналогичным образом.

Основные результаты расчета стержней фермы оформляются в табличном виде (табл. 11).

Табл. 11. Результаты подбора сечения стержней

Результаты подбора сечения стержней																
№	Сечение, мм	Класс стали	A _s , см ²	I _x , см	I _y , см	N, кН		I _x , см	I _y , см	λ _x	λ _y	φ	σ, МПа		R _s , МПа (γ _c =1)	σ/γ _c R _s
						+	-						+	-		
1	□200×160×7	C 345	48,44	7,65	6,43		1298	300,0	300,0	39,2	46,7	0,831		322,5	335	0,96
2	□160×7	C 345	42,84	6,25	6,25	1271		300,1	600,2	48,0	96,0		296,7		335	0,89
3	□140×5	C 245	27,0	5,51	5,51	529,1		455,3	455,3	82,6	82,6		196,0		240	0,82
4	□140×8	C 245	42,24	5,39	5,39		447,7	466,7	466,7	86,6	86,6	0,653		156,3	240	0,65
5	□120×4	C 245	18,56	4,74	4,74	366,3		455,3	455,3	96,1	96,1		197,4		240	0,82
6	□120×6	C 245	27,36	4,66	4,66		284,9	466,7	466,7	100,2	100,2	0,549		189,7	240	0,79
7	□100×4	C 245	15,36	3,92	3,92	203,5	122,1	455,3	455,3	116,1	116,1	0,431	132,5	184,4	240	0,55
						40,70		466,7	466,7	119,1	119,1		26,50	240	0,77	
						61,8		461,0	461,0	117,6	117,6			240	0,11	
8	□80×4	C 245	12,16	3,10	3,10	31,8		350,0	350,0	89,3	89,3	0,625		64,38	240	0,27
								350,0	350,0	112,9	112,9		26,15		240	0,11

Все стержни решетки, непосредственно привариваемые к верхнему и нижнему поясам фермы, имеют поперечные размеры, превышающие 0,6 ширины поясных элементов. Дополнительные стержни решетки в узлах излома поясов соединяются с последними посредством монтажных стыков на болтах и фланцах. Поэтому их поперечные размеры могут быть уменьшены до квадратного сечения □80 × 4 мм.

Стержни являются основными элементами таких решетчатых конструкций, как фермы покрытий. Их масса главным образом влияет на основные технико-экономические характеристики той или иной конструкции. Масса стержневых элементов рассматриваемой фермы приводится в табл. 12, где линейные размеры указываются в осях без учета конструктивных эксцентриситетов в узлах.

После нахождения общей массы стержневых элементов можно вычислить их приведенную массу:

$$m_s = 4292 / (42 \cdot 6) = 17,03 \text{ кг/м}^2,$$

где величина в знаменателе определяет грузовую площадь фермы покрытия. Полученный параметр интересно сравнить со значениями, использованными при сборе нагрузок

$$m_s = 16,8 \dots 33,6 \text{ кг/м}^2.$$

Табл. 12. Масса стержневых элементов

Сечение, мм	Длина, м	Кол-во, шт.	Масса, кг			Приме- чание
			1 м	1 шт.	всех	
□200 ×160 ×7	18,006	2	38,0	684,2	1368,4	Пояса
□200 ×160 ×7	6,0	1	38,0	228,0	228,0	
□160 ×7	15,005	2	33,63	504,6	1009,2	
□160 ×7	6,0	1	33,63	201,8	201,8	
					2807,4	Итого
□140 ×5	4,553	2	21,19	96,5	193,0	Решетка
□140 ×8	4,667	2	33,16	154,8	309,6	
□120 ×4	4,553	2	14,57	66,3	132,6	
□120 ×6	4,667	2	21,48	100,2	200,4	
□100 ×4	4,553	2	12,05	54,9	109,8	
□100 ×4	4,667	2	12,05	56,2	112,2	
□100 ×4	3,50	7	12,05	42,2	295,4	
□100 ×4	4,610	2	12,05	55,6	111,2	
□80 ×4	3,50	2	9,54	9,9	19,8	
					1484,2	Итого
					4292	Всего

Очевидно, что с ростом нагрузки (например, от веса снегового покрова) приведенная масса стержневых элементов будет увеличиваться, приближаясь к верхней величине. Имеющаяся разница значений m_s рассчитываемой фермы может быть отнесена в общий запас прочности разрабатываемой конструкции и использована в процессе дальнейшей эксплуатации, а также возможной реконструкции.

Унифицированные и рассчитанные стержни необходимо скомпоновать друг с другом в виде отправочных марок, на которые расчленяется ферма покрытия. Для построения элементов фермы используют двухмасштабное изображение. Так, длину элемента решетки изображают в более крупном масштабе (в том же масштабе, в котором построена сетка геометрических осей), а поперечные размеры этих же элементов строят в более мелком масштабе. Продольный и поперечный масштабы должны отличаться примерно в 2 раза (например 1:100 и 1:50; 1:50 и 1:25; 1:20 и 1:10). При оформлении бесфасоночных сопряжений прямоугольных и квадратных замкнутых профилей используют узловые эксцентриситеты, величина которых в данном случае (рис. 14) не должна превышать:

$$200/4 = 50 \text{ мм} - \text{в верхнем поясе};$$

$$160/4 = 40 \text{ мм} - \text{в нижнем поясе}.$$

В таких узлах стержневые элементы подгоняются друг к другу с обязательным наличием между ближайшими сварными швами зазоров, составляющих в свету не менее 10...20 мм. Масса наплавленного металла швов, выполняемых по заводским технологиям, как правило, не превышает 1...1,5% от массы свариваемых элементов.

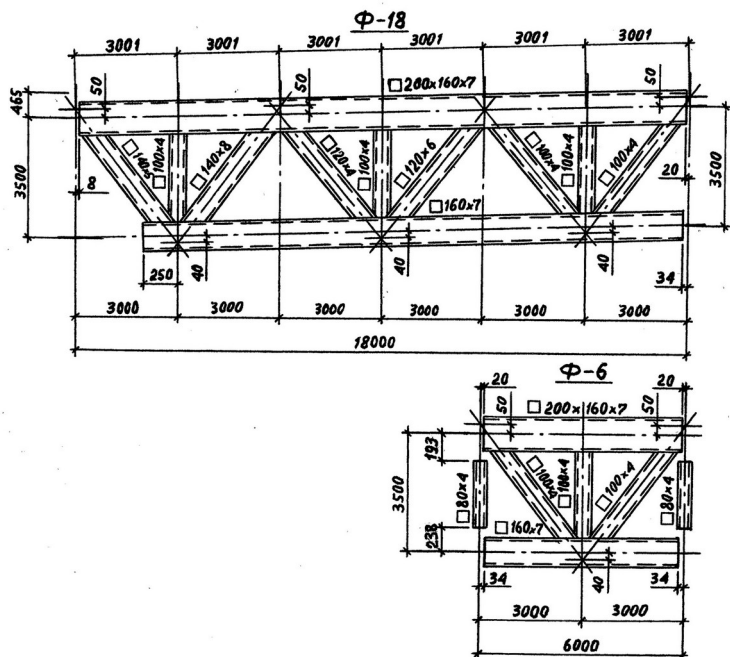


Рис. 14. Схемы компоновки стержней в виде отправочных марок фермы покрытия: Ф-18 и Ф-6 – маркировка отправочных элементов фермы (привязки торцевых резов поясов и дополнительных стержней решетки уточнены после расчета и конструирования монтажных стыков).

5.4. Конструирование и расчет монтажных стыков

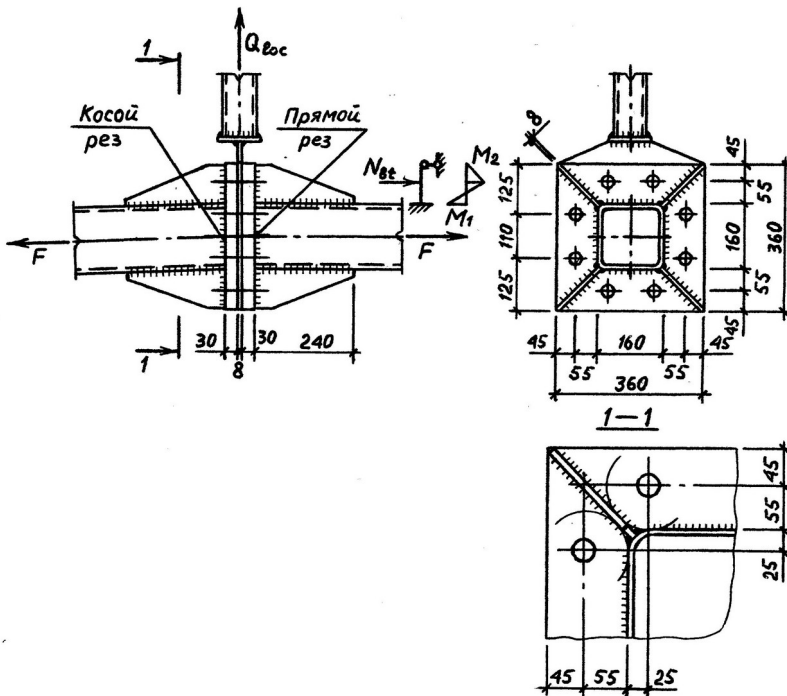
Монтажные соединения стальной фермы покрытия необходимо конструировать с учетом их расположения в узлах излома верхнего и нижнего поясов. Для обеспечения необходимого уклона ($i = 0,025\%$) стержневые элементы поясов 18-метровых отправочных марок фермы (Ф-18) привариваются к фланцам только после соответствующего косога реза их торцов. Аналогичные поясные элементы 6-метровой вставки (отправочной марки Ф-6), имеющей нулевой уклон ($i = 0$), отличаются прямым резом их торцов. Кроме того, в собранных на монтаже стыках между фланцами для прикрепления дополнительных стержней решетки фермы размещаются

плоские прокладки из листового проката, приваренные в заводских условиях к стержневым элементам замкнутого профиля.

Монтажные стыки нижнего пояса фермы воспринимают продольное усилие поясного элемента $F_{nn} = N_{18-19} = N_{19-20} = 1271$ кН и местную поперечную силу $Q_{loc} = N_{7-19} = N_{9-21} = 31,8$ кН (рис. 15.). Такая нагрузка во фланцевых соединениях без предварительного напряжения болтов (тип Б) вызывает в последних одновременное действие и растяжения, и среза, вынуждая их работать в условиях сложного напряженно-деформированного состояния. Более предпочтительны фланцевые соединения с предварительным натяжением болтов (тип А), величина которого такова, что продольная нагрузка не может разжать стянутые фланцы, а поперечная – преодолеть трение между ними. Величина продольной силы F , стягивающей подобным образом фланцы, составляет

$$F = F_{nn} + F_{loc} = F_{nn} + Q_{loc}/\mu = 1271 + 31,8/0,25 = 1398,2 \text{ кН},$$

где $F_{loc} = Q_{loc}/\mu$ – контактное усилие, необходимое, согласно формуле (40), для восприятия трением поперечной нагрузки; $\mu = 0,25$ – коэффициент трения соединяемых поверхностей без их обработки.



Для подбора сечения болтов по конструктивным соображениям можно принять их общее число $n_b = 8$ и класс прочности 10.9. Тогда из условия прочности (30) с учетом выражения (31) можно записать:

$$A_{bn, \text{прое.}} = F / (0,9n_b R_{bt}) = 139820 / (0,9 \cdot 8 \cdot 5000) = 3,88 \text{ см}^2,$$

где $R_{bt} = 500 \text{ МПа} = 5000 \text{ кгс/см}^2$ – расчетное сопротивление растяжению (табл. 7.).

Из сортамента (табл. 8.) выбирают болт М27 класса 10.9 с расчетной площадью сечения «нетто» $A_{bn} = 4,59 \text{ см}^2$, проверка прочности которого имеет следующий вид:

$$F / (0,9n_b N_{bt}) = 139820 / (0,9 \cdot 8 \cdot 22950) = 0,85 < 1,$$

где $N_{bt} = R_{bt} A_{bn} = 5000 \cdot 4,59 = 22950 \text{ кгс} = 229,5 \text{ кН}$ – расчетное усилие, согласно формуле (31) воспринимаемое одним болтом на растяжение, с которым его предварительно натягивают, чтобы фланцевое соединение работало по типу А.

Расчитываемое болтовое соединение М27 необходимо разместить безмоментно (симметрично) относительно центра тяжести сечения поясного элемента, как можно ближе к нему и с учетом минимально допустимых расстояний от профиля и ребра жесткости до оси болта $b_b = 55 \text{ мм}$ и от оси болта до края фланца $c_b = 45 \text{ мм}$ (табл. 6.). При этом каждый из 8 болтов должен быть равноудален от профиля и от ребра жесткости (см. фрагмент на рис. 15). Диаметр отверстий принимается на 3 мм больше диаметра болтов, то есть $27 + 3 = 30 \text{ мм}$.

Под действием нагрузки фланец изгибается. Значение изгибающих моментов вычисляются по формулам (36):

$$M_1 = 0,9N_{bt}l_b b_b (l_1 + c_b) / (3l_1^2 - c_b^2) = 0,9 \cdot 22950 \cdot 10 \cdot 5,5 (10 + 4,5) / (3 \cdot 10^2 - 4,5^2) = 58883 \text{ кгс} \cdot \text{см};$$

$$M_2 = 0,9N_{bt}b_b^2 (3l_1 - b_b) / (3l_1^2 - c_b^2) = 0,9 \cdot 22950 \cdot 5,5^2 (3 \cdot 10 - 5,5) / (3 \cdot 10^2 - 4,5^2) = 54720 \text{ кгс} \cdot \text{см},$$

где $l_1 = b_b + c_b = 5,5 + 4,5 = 10 \text{ см}$.

Из условия прочности фланца на изгиб (35) для его толщины t_{fl} с учетом момента сопротивления сечения при развитии неупругих деформаций по формуле (37) можно записать:

$$t_{fl, \text{треб.}} = \sqrt{4M_{\text{max}} / (\gamma_c R_{y, fl} b_1)} = \sqrt{4 \cdot 58883 / (1 \cdot 3800 \cdot 11)} = 2,374 \text{ см},$$

где M_{max} – наибольший изгибающий момент, $M_{\text{max}} = M_1 = 58883 \text{ кгс} \cdot \text{см}$;

γ_c – коэффициент условий работы, $\gamma_c = 1$; $R_{y, fl}$ – расчетное сопротивление стали фланца по пределу упругости, $R_{y, fl} = 380 \text{ МПа} = 3800 \text{ кгс/см}^2$ (сталь С 390); b_1 – шаг болтов, $b_1 = 11 \text{ см}$ (см. разрез 1-1 на рис. 15).

С учетом рекомендуемого сочетания диаметра болтов и толщины фланца М27 - $t_{fl} = 30 \text{ мм}$

принимается последнее значение. Тогда момент сопротивления сечения при развитии неупругих деформаций составляет

$$W_{fl} = b_1 t_{fl}^2 / 4 = 11 \cdot 3^2 / 4 = 24,75 \text{ см}^3,$$

а проверка прочности на изгиб имеет вид

$$M / (W_{fl} \gamma_c R_{y, fl}) = 58883 / (24,75 \cdot 1 \cdot 3800) = 0,63 < 1.$$

Без развития неупругих деформаций

$$W_{fl} = b_1 t_{fl}^2 / 6 = 11 \cdot 3^2 / 6 = 16,5 \text{ см}^3$$

и

$$M/(W_{fl} \gamma_c R_{y,fl}) = 58883/(16,5 \cdot 1 \cdot 3800) = 0,94 < 1.$$

Рассчитываемый фланец растянутых стыков приваривается к поясному элементу ($\square 160 \times 160 \times 7$ мм) односторонними угловыми швами. Для обеспечения необходимой длины таких швов используются ребра жесткости длиной 1,5 стороны профиля (но не менее 200 мм) и толщиной не более 1,2 толщины профиля, то есть $1,5 \cdot 160 = 240$ мм и $1,2 \cdot 7 = 8,4 = 8$ мм (см. разрез 1-1 на рис. 15).

Сварные швы между фланцами и поясными элементами с ребрами жесткости необходимо проверить расчетом на прочность по формулам (41) – (43):

- по металлу шва

$$F/(\beta_f k_f l_w R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c) = 127100/(0,7 \cdot 0,8 \cdot 165,2 \cdot 2000 \cdot 1 \cdot 1) = 0,69 < 1;$$

- по металлу границы сплавления с элементом пояса

$$F/(\beta_z k_f l_w R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c) = 127100/(1 \cdot 0,8 \cdot 165,2 \cdot 1650 \cdot 1 \cdot 1) = 0,58 < 1;$$

- по металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката

$$F/(\beta_z k_f l_w R_{th} \gamma_{wz} \gamma_c) = 127100/(1 \cdot 0,8 \cdot 165,2 \cdot 1900 \cdot 1 \cdot 1) = 0,51 < 1,$$

где F – нагрузка на сварные швы, $F = F_{ин} = 1271$ кН = 127100 кгс;

k_f – катет угловых швов, $k_f = 8$ мм $< 1,2 t_{мин} = 1,2 \cdot 7 = 8,4$ мм; l_w – расчетная длина шва, принимается меньше его полной длины на 1 см, $l_w = (16 - 1)4 + (10/0,7071 - 1)8 = 165,2$ см; $\beta_f = 0,7$, $R_{wf} = 2000$ кгс/см², $\gamma_{wf} = 1$ – полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа проволокой Св08Г2С; $\beta_z = 1$, $\gamma_{wz} = 1$, $R_{wz} = 165$ МПа = 1650 кгс/см² – для стали С 245 ребер жесткости (табл. 3); $R_{th} = 0,5 R_y = 0,5 \cdot 3800 = 1900$ кгс/см² – для стали С 390 фланца.

Здесь во второй проверке в качестве элемента пояса принимается ребро жесткости из менее прочного материала (сталь С 245), чем профиль пояса (сталь С 345). Кроме того, здесь необходимо проверить расчетом на прочность двухсторонние угловые швы, соединяющие 4 ребра и профиль:

по металлу шва

$$F/(\beta_f k_f l_w R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c) = 127100/(0,7 \cdot 0,8 \cdot 184 \cdot 2000 \cdot 1 \cdot 1) = 0,62 < 1;$$

по металлу границы сплавления

$$F/(\beta_z k_f l_w R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c) = 127100/(1 \cdot 0,8 \cdot 184 \cdot 1650 \cdot 1 \cdot 1) = 0,52 < 1,$$

где $l_w = (24 - 1)8 = 184$ см.

Для повышения степени унификации болтовые соединения, рассчитанные в растянутых стыках нижнего пояса, целесообразно принять и в сжатых стыках верхнего пояса, где болты можно затягивать без их предварительного напряжения.

Сжатые фланцы обычно в 1,5...2 раза тоньше растянутых ($t_{fl} = 30/(2 \cdot 1,5) = 15 \dots 20$ мм). Приняв $t_{fl} = 16$ мм и $b_{fl} = 360$ мм – соответственно толщину и ширину фланца, необходимого его в опорном узле фермы (рис. 16) проверить расчетом из условия прочности на смятие согласно формуле (44):

$$V/(b_{fl} t_{fl} R_p) = 43260/(36 \cdot 1,6 \cdot 3600) = 0,21 < 1,$$

где V – опорная реакция фермы, $V = 432,6 \text{ кН} = 43260 \text{ кгс}$; R_p – расчетное сопротивление стали смятию торцевой поверхности, для стали С 245 $R_p = 360 \text{ МПа} = 3600 \text{ кгс/см}^2$ (табл. 3).

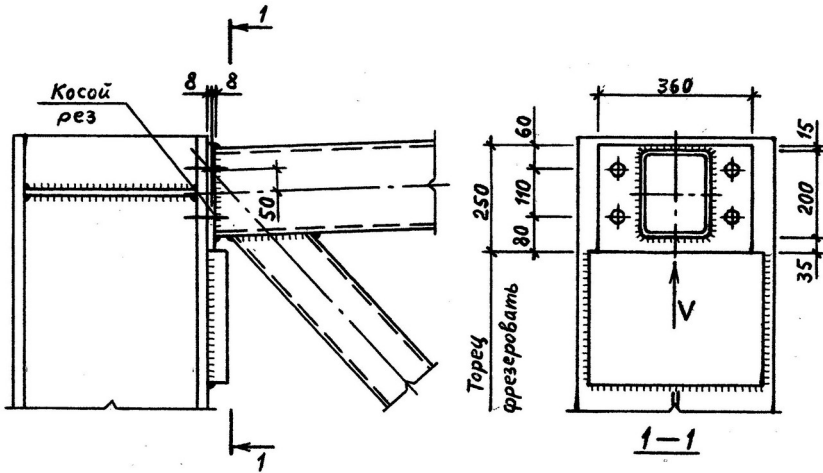


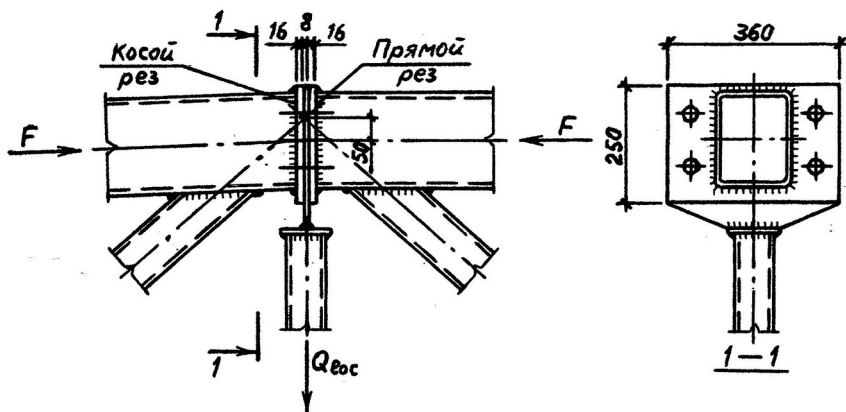
Рис. 16. Схема опорного узла фермы.

Высота опорного фланца подбирается таким образом, чтобы он для четкости опирания выступал минимум на 10...20 мм ниже сварного шва, соединяющего его с профилем пояса. Для лучшей пригонки нижний торец опорного фланца необходимо фрезеровать.

В монтажных стыках верхнего пояса (рис. 17) фланцы имеют те же размеры, что и в опорных узлах фермы. Прочность такого фланцевого соединения в соответствии с формулой (40) надо проверить расчетом на действие местной поперечной силы, как и в монтажных стыках нижнего пояса, составляющей $Q_{loc} = 31,8 \text{ кН}$:

$$Q_{loc}/(\mu F_{вп}) = 31,8/(0,25 \cdot 1298) = 0,10 < 1,$$

где $\mu = 0,25$ – коэффициент трения соединяемых поверхностей без их обработки; $F_{вп} = N_{7-8} = N_{8-9} = 1298 \text{ кН}$ – продольное усилие поясного элемента.



После конструирования и расчета монтажных стыков можно приступать к разработке чертежей отправочных марок, спецификации и ведомости отправочных элементов фермы (приложение 7). Из этой ведомости следует, что общая масса фермы равна 4585 кг и в перерасчете на 1 м² горизонтальной проекции покрытия составляет

$$m = 4585 / (42 \cdot 6) = 18,19 \text{ кг/м}^2.$$

Тогда, используя формулу (5), можно вычислить строительный коэффициент массы

$$\psi'_m = m/m_s = 18,19 / 17,03 = 1,068,$$

где $m_s = 17,03 \text{ кг/м}^2$ – приведенная масса стержневых элементов (табл. 12).

Найденное значение строительного коэффициента не значительно превышает принятое при определении нагрузки на ферму:

$$\frac{1,068}{(1,05 \dots 1,03)} 100 = 101,7 \dots 103,7\%.$$

Такое превышение можно объяснить тем, что рассматриваемая ферма отличается протяженным пролетом ($l = 42$ м) и повышенным числом монтажных стыков от наиболее распространенных ферм с $l = 18 \dots 24$ м.

Таким образом, расчетная нагрузка оказывается на $0,37 - 0,1819 = 0,1881 = 0,19 \text{ кН/м}^2$ ($37 - 18,19 = 18,81 = 19 \text{ кгс/м}^2$) меньше значения, принятого при сборе нагрузок. Полученная разница может быть отнесена в общий запас прочности разрабатываемой конструкции, что повысит предел ее несущей способности и, соответственно, увеличит полезную нагрузку.

5.5. Расчет фермы на деформативность

Для определения прогиба фермы необходимо вычислить момент инерции ее поперечного сечения в середине пролета (рис. 18):

$$Y_c = (48,44 \cdot 360 + 42,84 \cdot 10) / (48,44 + 42,84) = 195,74 \text{ см};$$

$$Y_{nn} = 195,74 - 10,0 = 185,74 \text{ см};$$

$$Y_{nn} = 350 - 185,74 = 164,26 \text{ см};$$

$$I_x = 2837,5 + 48,44 \cdot 164,26^2 + 1674,9 + 42,84 \cdot 185,74^2 = 2789441 \text{ см}^4.$$

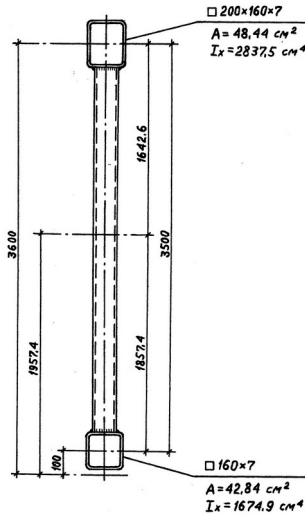
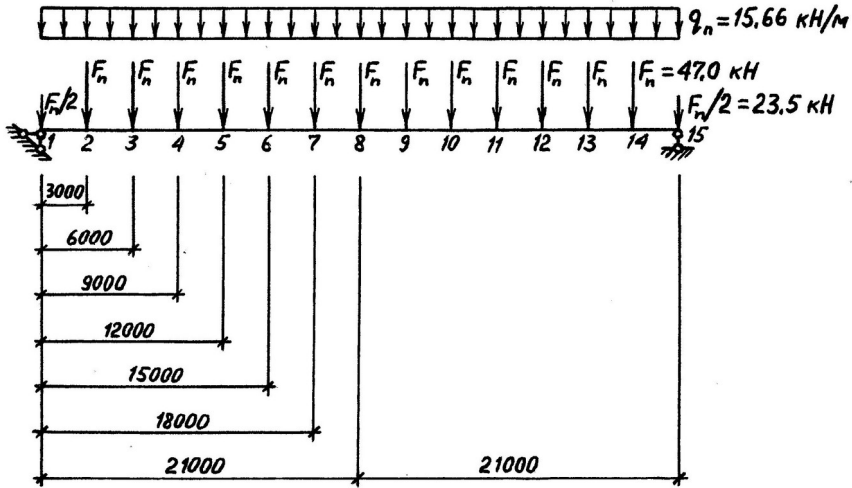


Рис. 18. Схема поперечного сечения фермы.

Сечение верхнего и нижнего поясов, а также вычисленный момент инерции является постоянным по всему пролету фермы. Поэтому коэффициент влияния изменения момента инерции сечения фермы по длине пролета $k_l = 1$. Тогда выражение (47) для балочного прогиба f_B можно переписать следующим образом:

$$f_B = k_l \sum_{i=1}^n (F_i a_i \frac{3l^2 - 4a_i^2}{48EI_x}) = \frac{F_n}{48EI_x} \sum_{i=2}^{14} a_i (3l^2 - 4a_i^2),$$

где F_i – узловая нормативная нагрузка, $F_i = F_n = 47,0 \text{ кН} = 4700 \text{ кгс}$; a_i – расстояние от опоры до точки приложения силы F_i ; в данном случае узловые нормативные нагрузки F_n приложены в точках 2, 3, 4, ..., 12, 13, 14 балочного аналога фермы (рис. 19).



Величину, стоящую под знаком суммы в последнем выражении, удобно вычислить, используя симметрию балочной схемы:

$$\sum_{i=2}^{14} a_i (3l^2 - 4a_i^2) = 2[3(3 \cdot 42^2 - 4 \cdot 3^2) + 6(3 \cdot 42^2 - 4 \cdot 6^2) + 9(3 \cdot 42^2 - 4 \cdot 9^2) + 12(3 \cdot 42^2 - 4 \cdot 12^2) + 15(3 \cdot 42^2 - 4 \cdot 15^2) + 18(3 \cdot 42^2 - 4 \cdot 18^2)] + 21(3 \cdot 42^2 - 4 \cdot 21^2) = 645624 \text{ м}^3 = 645624 \cdot 10^6 \text{ см}^3.$$

Прогиб балочного аналога фермы составляет

$$f_B = \frac{4700}{48 \cdot 2100000 \cdot 2789441} 645624000000 = 10,79 \text{ см},$$

где $E = 210000 \text{ МПа} = 2100000 \text{ кгс/см}^2$ – модуль продольной упругости стали.

Найденный прогиб интересно сравнить с аналогичным прогибом балки под нормативной распределенной (погонной) нагрузкой $q_n = 15,66 \text{ кН/м} = 15,66 \text{ кгс/см}$, так как число узловых нагрузок (сосредоточенных сил) делает такое сравнение вполне корректным:

$$f_B = \frac{5}{384} \frac{q_n l^4}{EI_x} = \frac{5 \cdot 15,66 \cdot 4200^4}{384 \cdot 2100000 \cdot 2789441} = 10,83 \text{ см};$$

$$\frac{10,83 - 10,79}{(10,83 \dots 10,79)} 100 = 0,369 \dots 0,371\%.$$

Зная прогиб балочного аналога, можно по формуле (46) определить прогиб фермы:

$$f = k_{fp} k_{fu} f_B = 1,2 \cdot 1 \cdot 10,79 = 12,95 \text{ см},$$

где $k_{fp} = 1 + 2,4 \cdot 3,5 / 42 = 1,20$ – коэффициент влияния податливости решетки ($h = 3,5 \text{ м}$ – высота фермы); $k_{fu} = 1$ – коэффициент влияния податливости

монтажных соединений на фланцах с предварительным напряжением болтов (тип А).

Несущая способность фермы по деформативности (по второй группе предельных состояний) обеспечена, так как согласно условию (45)

$$f = 12,95 \text{ см} = l / 324 < f_u = l / 300 = 14,0 \text{ см},$$

где f_u – предельно допустимый прогиб.

Рекомендуемая литература

Основная литература:

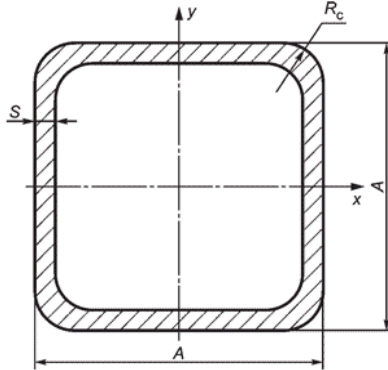
1. Металлические конструкции, включая сварку: учебник / Н. С. Москалев, Я. А. Пронозин, В. С. Парлашкевич, Н. Д. Корсун ; под ред. В. С. Парлашкевич // Издательство: АСВ. – Москва. – 2014. – 349 с.
2. Металлические конструкции / Москалев Н.С., Пронозин Я.А. // Издательство: АСВ. – Москва. – 2014. – 352 с.

Дополнительная литература:

1. Металлические конструкции каркасных зданий: учебное пособие / Копытов М.М. // Издательство АСВ. – Москва. – 2016. – 400 с.
2. Проектирование несущих конструкций многоэтажного каркасного здания / Горбатов С.В., Кабанцев О.В., Плотников А.И., Родина А.Ю., Сенин Н.И., Филимонова Е.А., Домарова Е.В. // Издательство АСВ. – Москва. – 2016. – 196 с.
1. Справочник строителя / Бадьин Г.М., Сычев С.А. // Издательство АСВ. – Москва. – 2016. – 432 с.

ГОСТ Р 54157-2010. ТРУБЫ СТАЛЬНЫЕ ПРОФИЛЬНЫЕ ДЛЯ
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Квадратные трубы. Форма профиля и размеры труб



Размеры трубы, мм			Площадь поперечного сечения,	Статические характеристики* для осей X и Y		
Размеры профиля		Толщина стенки S		Момент инерции,	Момент сопротивления	
Наружный размер A	Радиус скругления углов R _c					
10	1,20	0,8	0,28	0,04	0,08	0,22
	1,35	0,9	0,31	0,04	0,09	0,24
	1,50	1,0	0,34	0,05	0,09	0,27
	1,80	1,2	0,39	0,05	0,10	0,31
15	2,10	1,4	0,44	0,05	0,11	0,35
	1,20	0,8	0,44	0,15	0,20	0,35
	1,35	0,9	0,49	0,16	0,21	0,39
	1,50	1,0	0,54	0,17	0,23	0,43
	1,80	1,2	0,64	0,20	0,26	0,50
	2,10	1,4	0,73	0,22	0,29	0,57
20	2,25	1,5	0,77	0,23	0,31	0,61
	1,20	0,8	0,60	0,37	0,40	0,47
	1,35	0,9	0,67	0,40	0,42	0,53
	1,50	1,0	0,74	0,44	0,45	0,58
	1,80	1,2	0,89	0,51	0,51	0,68
	2,10	1,4	1,01	0,57	0,57	0,79
	2,25	1,5	1,07	0,60	0,60	0,84
25	3,00	2,0	1,37	0,72	0,72	1,08
	1,20	0,8	0,76	0,74	0,59	0,60
	1,35	0,9	0,85	0,82	0,65	0,67
	1,50	1,0	0,94	0,90	0,72	0,74
	1,80	1,2	1,12	1,04	0,51	0,83
	2,10	1,4	1,29	1,18	0,57	0,94
	2,25	1,5	1,37	1,25	1,00	1,08
	3,00	2,0	1,77	1,54	1,23	1,39
3,75	2,5	2,14	1,77	1,42	1,68	

30	6,00	3,0	2,41	1,84	1,47	1,89
	1,20	0,8	0,92	1,30	0,87	0,92
	1,35	0,9	1,03	1,45	0,96	1,03
	1,50	1,0	1,14	1,59	1,06	1,14
	1,80	1,2	1,36	1,86	1,24	1,36
	1,95	1,3	1,46	1,99	1,33	1,46
	2,10	1,4	1,57	2,12	1,41	1,57
	2,25	1,5	1,67	2,24	1,49	1,67
	3,00	2,0	2,17	2,80	1,86	1,70
	3,75	2,5	2,64	3,27	2,18	2,07
6,00	3,0	3,01	3,50	2,34	2,36	
7,00	3,5	3,39	3,77	2,52	2,66	
35	8,00	4,0	3,75	3,97	2,64	2,94
	1,20	0,8	1,08	2,10	1,20	0,85
	1,35	0,9	1,21	2,34	1,34	0,95
	2,10	1,4	1,85	3,45	1,97	1,45
	2,25	1,5	1,97	3,65	2,09	1,55
	3,00	2,0	2,57	4,61	2,63	2,02
	3,75	2,5	3,14	5,45	3,11	2,47
	6,00	3,0	3,61	5,95	3,40	2,83
	7,00	3,5	4,09	6,49	3,71	3,21
	8,00	4,0	4,55	6,93	3,96	3,57
9,00	4,5	4,97	7,26	4,15	3,90	
10,00	5,0	5,36	7,50	4,29	4,20	
40	2,10	1,4	2,13	5,24	2,62	1,67
	2,25	1,5	2,27	5,57	2,78	1,78
	3,00	2,0	2,97	7,07	3,54	2,33
	3,75	2,5	3,64	8,42	4,21	2,86
	6,00	3,0	4,21	9,32	4,66	3,30
	7,00	3,5	4,79	10,27	5,14	3,76
	8,00	4,0	5,35	11,07	5,54	4,20
	9,00	4,5	5,87	11,73	5,87	4,61
	10,00	5,0	6,36	12,26	6,13	4,99
	11,00	5,5	6,81	12,66	6,33	5,35
12,00	6,0	7,23	12,94	6,47	5,68	
42	6,00	3,0	4,45	10,97	5,22	3,49
	7,00	3,5	5,07	12,12	5,77	3,98
	8,00	4,0	5,67	13,11	6,24	4,45
	9,00	4,5	6,23	13,94	6,64	4,89
	10,00	5,0	6,76	14,62	6,96	5,30
	11,00	5,5	7,25	15,15	7,21	5,69
	12,00	6,0	7,71	15,55	7,40	6,05
45	3,00	2,0	3,37	10,29	4,57	2,65
	6,00	3,0	4,81	13,78	6,12	3,77
	7,00	3,5	5,49	15,29	6,80	4,31
	8,00	4,0	6,15	16,61	7,38	4,83
	9,00	4,5	6,77	17,74	7,88	5,31
	10,00	5,0	7,36	18,69	8,31	5,77
	11,00	5,5	7,91	19,47	8,65	6,21
	12,00	6,0	8,43	20,09	8,93	6,62
	16,25	6,5	8,56	18,74	8,33	6,72
	17,50	7,0	8,96	18,78	8,35	7,03
50	18,75	7,5	9,32	18,67	8,30	7,32
	20,00	8,0	9,64	18,42	8,19	7,57
	3,00	2,0	3,77	14,36	5,74	2,96
	3,75	2,5	4,64	17,27	6,91	3,64
	6,00	3,0	5,41	19,47	7,79	4,25
	7,00	3,5	6,19	21,73	8,69	4,86
	8,00	4,0	6,95	23,74	9,49	5,45

	9,00	4,5	7,67	25,50	10,20	6,02
	10,00	5,0	8,36	27,04	10,82	6,56
	11,00	5,5	9,01	28,35	11,34	7,07
	12,00	6,0	9,63	29,45	11,78	7,56
	16,25	6,5	9,86	28,10	11,24	7,74
	17,50	7,0	10,36	28,47	11,39	8,13
	18,75	7,5	10,82	28,62	11,45	8,49
	20,00	8,0	11,24	28,59	11,43	8,83
55	4,50	3,0	6,09	27,10	9,85	4,78
60	3,00	2,0	4,57	25,45	8,48	3,59
	3,75	2,5	5,64	30,82	10,27	4,43
	6,00	3,0	6,61	35,13	11,71	5,19
	7,00	3,5	7,59	39,53	13,18	5,96
	8,00	4,0	8,55	43,55	14,52	6,71
	9,00	4,5	9,47	47,20	15,73	7,43
	10,00	5,0	10,36	50,49	16,83	8,13
	11,00	5,5	11,21	53,45	17,82	8,80
	12,00	6,0	12,03	56,07	18,69	9,45
	16,25	6,5	12,46	55,10	18,37	9,78
	17,50	7,0	13,16	56,58	18,86	10,33
	18,75	7,5	13,82	57,74	19,25	10,85
20,00	8,0	14,44	58,57	19,52	11,34	
70	3,00	2,0	5,37	41,14	11,75	4,22
	3,75	2,5	6,64	50,06	14,30	5,21
	6,00	3,0	7,81	57,53	16,44	6,13
	7,00	3,5	8,99	65,09	18,60	7,06
	8,00	4,0	10,15	72,12	20,61	7,97
	9,00	4,5	11,27	78,63	22,47	8,85
	10,00	5,0	12,36	84,63	24,18	9,70
	11,00	5,5	13,41	90,14	25,75	10,53
	12,00	6,0	14,43	95,17	27,19	11,33
	16,25	6,5	15,06	95,28	27,22	11,82
	17,50	7,0	15,96	98,70	28,20	12,53
	18,75	7,5	16,82	101,64	29,04	13,20
20,00	8,0	17,64	104,11	29,74	13,85	
80	6,00	3,0	9,01	87,84	21,96	7,07

	7,00	3,5	10,39	99,80	24,95	8,16
	8,00	4,0	11,75	111,04	27,76	9,22
	9,00	4,5	13,07	121,58	30,40	10,26
	10,00	5,0	14,36	131,44	32,86	11,27
	11,00	5,5	15,61	140,63	35,16	12,25
	12,00	6,0	16,83	149,18	37,29	13,21
	16,25	6,5	17,66	151,25	37,81	13,86
	17,50	7,0	18,76	157,61	39,40	14,72
	18,75	7,5	19,82	163,32	40,83	15,56
	20,00	8,0	20,84	168,38	42,09	16,36
	22,50	9,0	22,97	183,56	44,41	17,86
	25,00	10,0	25,76	198,10	48,03	19,53
33,00	11,0	27,21	203,21	50,16	21,17	
90	6,00	3,0	10,21	127,28	28,29	8,01
	7,00	3,5	11,79	145,06	32,24	9,26
	8,00	4,0	13,35	161,92	35,98	10,48
	9,00	4,5	14,87	177,87	39,53	11,67
	10,00	5,0	16,36	192,93	42,87	12,84
	11,00	5,5	17,81	207,13	46,03	13,98
	12,00	6,0	19,23	220,48	48,99	15,10
	16,25	6,5	20,26	225,60	50,13	15,90
	17,50	7,0	21,56	236,13	52,47	16,92
	18,75	7,5	22,82	245,79	54,62	17,91
20,00	8,0	24,04	254,59	56,58	18,87	
100	6,00	3,0	11,41	177,05	35,41	8,96
	7,00	3,5	13,19	202,28	40,46	10,36
	8,00	4,0	14,95	226,35	45,27	11,73
	9,00	4,5	16,67	249,29	49,86	13,08
	10,00	5,0	18,36	271,10	54,22	14,41
	11,00	5,5	20,01	291,82	58,36	15,71
	12,00	6,0	21,63	311,47	62,29	16,98
	16,25	6,5	22,86	320,93	64,19	17,94
	17,50	7,0	24,36	337,04	67,41	19,12
	18,75	7,5	25,82	352,04	70,41	20,27
20,00	8,0	27,24	365,94	73,19	21,39	
110	13,50	9,0	31,37	424,11	84,82	24,62
	12,00	6,0	24,03	424,57	77,19	18,87
	16,25	6,5	25,46	439,85	79,97	19,99
	17,50	7,0	27,16	463,15	84,21	21,32
	18,75	7,5	28,82	485,07	88,20	22,62
	20,00	8,0	30,44	505,64	91,93	23,90
	21,25	8,5	32,03	524,87	95,43	25,14
22,50	9,0	33,58	542,79	98,69	26,36	
120	6,00	3,0	13,81	312,35	52,06	10,84
	7,00	3,5	15,99	358,17	59,69	12,56
	8,00	4,0	18,15	402,28	67,05	14,25

	9,00	4, 5	20,27	444,70	74,12	15,91
	10,00	5, 0	22,36	485,47	80,91	17,55
	11,00	5, 5	24,41	524,62	87,44	19,16
	12,00	6, 0	26,43	562,16	93,69	20,75
	16,25	6, 5	28,06	584,95	97,49	22,03
	17,50	7, 0	29,96	617,26	102,8 8	23,52
	18,75	7, 5	31,82	647,90	107,9 8	24,98
	20,00	8, 0	33,64	676,88	112,8 1	26,41
	13,50	9, 0	38,57	778,82	129,8 0	30,28
14 0	8,00	4, 0	21,35	651,62	93,09	16,76
	9,00	4, 5	23,87	722,24	103,1 8	18,74
	10,00	5, 0	26,36	790,56	112,9 4	20,69
	11,00	5, 5	28,81	856,61	122,3 7	22,62
	12,00	6, 0	31,23	920,43	131,4 9	24,52
	16,25	6, 5	33,26	964,11	137,7 3	26,11
	17,50	7, 0	35,56	1020,68	145,8 1	27,91
	18,75	7, 5	37,82	1074,89	153,5 6	29,69
	20,00	8, 0	40,04	1126,77	160,9 7	31,43
	13,50	9, 0	45,77	1290,58	184,3 7	35,93
15 0	8,00	4, 0	22,95	807,82	107,7 1	18,01
	9,00	4, 5	25,67	896,30	119,5 1	20,15
	10,00	5, 0	28,36	982,12	130,9 5	22,26
	11,00	5, 5	31,01	1065,31	142,0 4	24,34
	12,00	6, 0	33,63	1145,91	152,7 9	26,40
	16,25	6, 5	35,86	1203,37	160,4 5	28,15
	17,50	7, 0	38,36	1275,59	170,0 8	30,11
	18,75	7, 5	40,82	1345,06	179,3 4	32,04
	20,00	8, 0	43,24	1411,83	188,2 4	33,95
	13,50	9, 0	49,37	1614,37	215,2 5	38,75
	15,00	10, 0	54,28	1747,21	232,9 6	42,61

16 0	8,00	4, 0	24,55	987,17	123,4 0	19,27
	9,00	4, 5	27,47	1096,2 9	137,0 4	21,56
	10,00	5, 0	30,36	1202,3 6	150,2 9	23,83
	11,00	5, 5	33,21	1305,4 1	163,1 8	26,07
	12,00	6, 0	36,03	1405,4 8	175,6 9	28,29
	16,25	6, 5	38,46	1479,2 1	184,9 0	30,19
	17,50	7, 0	41,16	1569,6 9	196,2 1	32,31
	18,75	7, 5	43,82	1657,0 2	207,1 3	34,40
	20,00	8, 0	46,44	1741,2 3	217,6 5	36,46
18 0	6,00	3, 0	21,01	1090,8 3	121,2 0	16,49
	7,00	3, 5	24,39	1258,2 8	139,8 1	19,15
	8,00	4, 0	27,75	1421,7 4	157,9 7	21,78
	9,00	4, 5	31,07	1581,2 6	175,7 0	24,39
	10,00	5, 0	34,36	1736,8 7	192,9 9	26,97
	11,00	5, 5	37,61	1888,6 1	209,8 5	29,52
	12,00	6, 0	40,83	2036,5 2	226,2 8	32,05
	16,25	6, 5	43,66	2151,0 5	239,0 1	34,27
	17,50	7, 0	46,76	2286,7 0	254,0 8	36,70
	18,75	7, 5	49,82	2418,2 9	268,7 0	39,11
	20,00	8, 0	52,84	2545,8 6	282,8 7	41,48
	21,25	8, 5	55,83	2669,4 6	296,6 1	43,83
	22,50	9, 0	58,78	2789,1 2	309,9 0	46,14
	23,75	9, 5	61,69	2904,8 9	322,7 7	48,43
	25,00	10 ,0	64,57	3016,8 0	335,2 0	50,68
	31,50	10 ,5	66,46	3045,1 3	338,3 5	52,17
	33,00	11 ,0	69,17	3141,5 8	349,0 6	54,30
	34,50	11 ,5	71,83	3233,9 2	359,3 2	56,39
	36,00	12 ,0	74,46	3322,1 9	369,1 3	58,45
	37,50	12 ,5	77,04	3406,4 3	378,4 9	60,48
	39,00	13 ,0	79,59	3486,6 9	387,4 1	62,48

	40,50	13,5	82,09	3562,99	395,89	64,44	
	42,00	14,0	84,55	3635,39	403,93	66,37	
	43,50	14,5	86,97	3703,93	411,55	68,27	
	45,00	15,0	89,34	3768,64	418,74	70,13	
	46,50	15,5	91,68	3829,56	425,51	71,97	
	48,00	16,0	93,97	3886,74	431,86	73,77	
20 0	10,00	5,0	38,36	2410,09	241,01	30,11	
	11,00	5,5	42,01	2623,81	262,38	32,98	
	12,00	6,0	45,63	2832,75	283,27	35,82	
	16,25	6,5	48,86	3000,43	300,04	38,35	
	17,50	7,0	52,36	3194,10	319,41	41,10	
	18,75	7,5	55,82	3382,69	338,27	43,82	
	20,00	8,0	59,24	3566,25	356,63	46,51	
	21,25	8,5	62,63	3744,83	374,48	49,16	
	22,50	9,0	65,98	3918,45	391,85	51,79	
	23,75	9,5	69,29	4087,18	408,72	54,39	
	25,00	10,0	72,57	4251,06	425,11	56,96	
		31,50	10,5	74,86	4311,90	431,19	58,76
		33,00	11,0	77,97	4456,51	445,65	61,20
		34,50	11,5	81,03	4595,93	459,59	63,61
		36,00	12,0	84,06	4730,22	473,02	65,99
25 0	12,00	6,0	57,63	5672,00	453,76	45,24	
	16,25	6,5	61,86	6037,10	482,97	48,56	
	17,50	7,0	66,36	6442,58	515,41	52,09	
	18,75	7,5	70,82	6839,93	547,19	55,59	
	20,00	8,0	75,24	7229,20	578,34	59,07	
	21,25	8,5	79,63	7610,46	608,84	62,51	
	22,50	9,0	83,98	7983,75	638,70	65,92	
	23,75	9,5	88,29	8349,14	667,93	69,31	
	25,00	10,0	92,57	8706,67	696,53	72,66	

	31,50	10,5	95,86	8903,75	712,30	75,25	
	33,00	11,0	99,97	9230,69	738,46	78,47	
	34,50	11,5	104,03	9549,22	763,94	81,67	
	36,00	12,0	108,06	9859,41	788,75	84,83	
300	8,00	4,0	46,95	6825,31	455,02	36,85	
	9,00	4,5	52,67	7626,73	508,45	41,34	
	10,00	5,0	58,36	8416,88	561,13	45,81	
	11,00	5,5	64,01	9195,84	613,06	50,25	
	12,00	6,0	69,63	9963,67	664,24	54,66	
	16,25	6,5	74,86	10638,39	709,23	58,76	
	17,50	7,0	80,36	11371,03	758,07	63,08	
	18,75	7,5	85,82	12091,78	806,12	67,37	
	20,00	8,0	91,24	12800,69	853,38	71,63	
	21,25	8,5	96,63	13497,83	899,86	75,85	
	22,50	9,0	101,98	14183,28	945,55	80,05	
	23,75	9,5	107,29	14857,10	990,47	84,22	
	25,00	10,0	112,57	15519,36	1034,62	88,36	
		31,50	10,5	116,86	15951,20	1063,41	91,73
		33,00	11,0	121,97	16568,95	1104,60	95,74
		34,50	11,5	127,03	17174,31	1144,95	99,72
		36,00	12,0	132,06	17767,35	1184,49	103,67
		37,50	12,5	137,04	18348,13	1223,21	107,58
		39,00	13,0	141,99	18916,72	1261,11	111,46
		40,50	13,5	146,89	19473,18	1298,21	115,31
		42,00	14,0	151,75	20017,59	1334,51	119,12
		43,50	14,5	156,57	20550,01	1370,00	122,90
		45,00	15,0	161,34	21070,50	1404,70	126,65
		46,50	15,5	166,08	21579,13	1438,61	130,37
		48,00	16,0	170,77	22075,97	1471,73	134,06
		49,50	16,5	175,42	22561,08	1504,07	137,71

	51,00	17,0	180,04	23034,53	1535,64	141,33
	52,50	17,5	184,61	23496,40	1566,43	144,92
	54,00	18,0	189,13	23946,74	1596,45	148,47
	55,50	18,5	193,62	24385,62	1625,71	151,99
	57,00	19,0	198,07	24813,11	1654,21	155,48
	60,00	20,0	206,83	25634,18	1708,95	162,36
	63,00	21,0	215,43	26410,50	1760,70	169,11
	66,00	22,0	223,87	27142,60	1809,51	175,74
350	10,00	5,0	68,36	13495,71	771,18	53,66
	11,00	5,5	75,01	14759,37	843,39	58,88
	12,00	6,0	81,63	16007,74	914,73	64,08
	16,25	6,5	87,86	17129,30	978,82	68,97
	17,50	7,0	94,36	18329,46	1047,40	74,07
	18,75	7,5	100,82	19513,23	1115,04	79,14
	20,00	8,0	107,24	20680,70	1181,75	84,19
	21,25	8,5	113,63	21831,94	1247,54	89,20
	22,50	9,0	119,98	22967,05	1312,40	94,18
	23,75	9,5	126,29	24086,08	1376,35	99,14
	25,00	10,0	132,57	25189,13	1439,38	104,06
	31,50	10,5	137,86	25979,25	1484,53	108,22
	33,00	11,0	143,97	27021,30	1544,07	113,01
	34,50	11,5	150,03	28046,20	1602,64	117,78
	36,00	12,0	156,06	29054,03	1660,23	122,51
	37,50	12,5	162,04	30044,87	1716,85	127,20
	39,00	13,0	167,99	31018,79	1772,50	131,87
	40,50	13,5	173,89	31975,88	1827,19	136,50
	42,00	14,0	179,75	32916,21	1880,93	141,10
	43,50	14,5	185,57	33839,85	1933,71	145,67
45,00	15,0	191,34	34746,89	1985,54	150,20	
46,50	15,5	197,08	35637,40	2036,42	154,71	

	48,00	16,0	202,77	36511,45	2086,37	159,18
	49,50	16,5	208,42	37369,14	2135,38	163,61
	51,00	17,0	214,04	38210,53	2183,46	168,02
	52,50	17,5	219,61	39035,69	2230,61	172,39
	54,00	18,0	225,13	39844,72	2276,84	176,73
	55,50	18,5	230,62	40637,69	2322,15	181,04
	57,00	19,0	236,07	41414,66	2366,55	185,31
	60,00	20,0	246,83	42920,98	2452,63	193,76
	63,00	21,0	257,43	44364,28	2535,10	202,08
	66,00	22,0	267,87	45745,21	2614,01	210,28
40	12,00	6,0	93,63	24104,23	1205,21	73,50
0	16,25	6,5	100,86	25834,82	1291,74	79,17
	17,50	7,0	108,36	27667,85	1383,39	85,06
	18,75	7,5	115,82	29479,29	1473,96	90,92
	20,00	8,0	123,24	31269,24	1563,46	96,75
	21,25	8,5	130,63	33037,80	1651,89	102,54
	22,50	9,0	137,98	34785,05	1739,25	108,31
	23,75	9,5	145,29	36511,08	1825,55	114,05
	25,00	10,0	152,57	38215,98	1910,80	119,76
	31,50	10,5	158,86	39512,90	1975,64	124,70
	33,00	11,0	165,97	41137,72	2056,89	130,28
	34,50	11,5	173,03	42739,88	2136,99	135,83
	36,00	12,0	180,06	44319,45	2215,97	141,35
	37,50	12,5	187,04	45876,53	2293,83	146,83
	39,00	13,0	193,99	47411,20	2370,56	152,28
	40,50	13,5	200,89	48923,55	2446,18	157,70
	42,00	14,0	207,75	50413,67	2520,68	163,08
	43,50	14,5	214,57	51881,65	2594,08	168,43
	45,00	15,0	221,34	53327,57	2666,38	173,75
	46,50	15,5	228,08	54751,52	2737,58	179,04

	48,00	16 0	234,77	56153,60	2807, 68	184,30
	49,50	16 5	241,42	57533,88	2876, 69	189,52
	51,00	17 0	248,04	58892,47	2944, 62	194,71
	52,50	17 5	254,61	60229,44	3011, 47	199,87
	54,00	18 0	261,13	61544,88	3077, 24	204,99
	55,50	18 5	267,62	62838,88	3141, 94	210,08
	57,00	19 0	274,07	64111,54	3205, 58	215,14
	60,00	20 0	286,83	66593,17	3329, 66	225,16
	63,00	21 0	299,43	68990,47	3449, 52	235,05
	66,00	22 0	311,87	71304,15	3565, 21	244,82
45 0	12,00	6, 0	105,63	34553,13	1535, 69	82,92
	16,25	6, 5	113,86	37079, 96	1648, 00	89,38
	17,50	7, 0	122,36	39736, 20	1766, 05	96,05
	18,75	7, 5	130,82	42364, 95	1882, 89	102,69
	20,00	8, 0	139,24	44966, 32	1998, 50	109,31
	21,25	8, 5	147,63	47540, 39	2112, 91	115,89
	22,50	9, 0	155,98	50087, 28	2226, 10	122,44
	23,75	9, 5	164,29	52607, 09	2338, 09	128,97
	25,00	10 0	172,57	55099, 91	2448, 89	135,46
	31,50	10 5	179,86	57077, 15	2536, 76	141,19
	33,00	11 0	187,97	59468, 23	2643, 03	147,55
	34,50	11 5	196,03	61830, 36	2748, 02	153,89
	36,00	12 0	204,06	64163, 62	2851, 72	160,19
	37,50	12 5	212,04	66468, 11	2954, 14	166,45
	39,00	13 0	219,99	68743, 94	3055, 29	172,69
	40,50	13 5	227,89	70991, 19	3155, 16	178,89
	42,00	14 0	235,75	73209, 98	3253, 78	185,06
	43,50	14 5	243,57	75400, 39	3351, 13	191,20
	45,00	15 0	251,34	77562, 54	3447, 22	197,30
	46,50	15 5	259,08	79696, 50	3542, 07	203,38

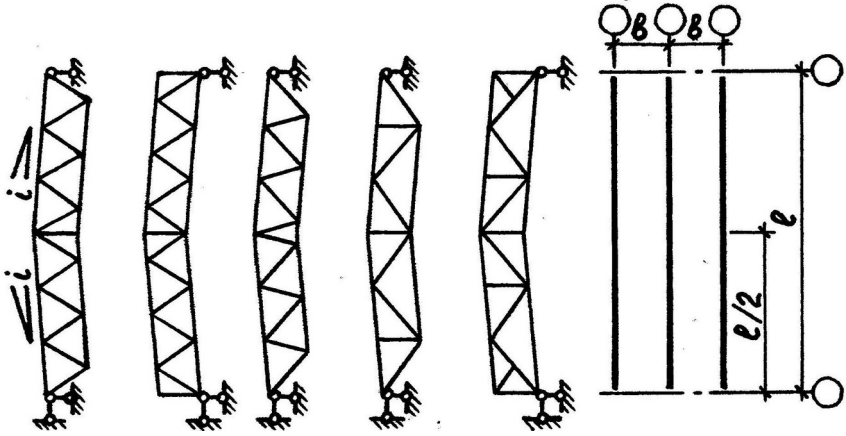
	48,00	16,0	266,77	81802,40	3635,66	209,42
	49,50	16,5	274,42	83880,32	3728,01	215,42
	51,00	17,0	282,04	85930,36	3819,13	221,40
	52,50	17,5	289,61	87952,62	3909,01	227,34
	54,00	18,0	297,13	89947,21	3997,65	233,25
	55,50	18,5	304,62	91914,22	4085,08	239,13
	57,00	19,0	312,07	93853,74	4171,28	244,97
	60,00	20,0	326,83	97650,76	4340,03	256,56
	63,00	21,0	341,43	101339,05	4503,96	268,02
	66,00	22,0	355,87	104919,42	4663,09	279,36
50	17,50	7,0	136,36	54884,53	2195,38	107,04
0	18,75	7,5	145,82	58545,23	2341,81	114,47
	20,00	8,0	155,24	62171,92	2486,88	121,87
	21,25	8,5	164,63	65764,72	2630,59	129,23
	22,50	9,0	173,98	69323,75	2772,95	136,57
	23,75	9,5	183,29	72849,11	2913,96	143,88
	25,00	10,0	192,57	76340,92	3053,64	151,16
	31,50	10,5	200,86	79197,00	3167,88	157,67
	33,00	11,0	209,97	82562,83	3302,51	164,82
	34,50	11,5	219,03	85892,64	3435,71	171,94
	36,00	12,0	228,06	89186,53	3567,46	179,03
	37,50	12,5	237,04	92444,61	3697,78	186,08
	39,00	13,0	245,99	95667,00	3826,68	193,10
	40,50	13,5	254,89	98853,81	3954,15	200,09
	42,00	14,0	263,75	102005,13	4080,21	207,04
	43,50	14,5	272,57	105121,09	4204,84	213,96
	45,00	15,0	281,34	108201,79	4328,07	220,85
	46,50	15,5	290,08	111247,34	4449,89	227,71
	48,00	16,0	298,77	114257,85	4570,31	234,54
	49,50	16,5	307,42	117233,43	4689,34	241,33

	51,00	17 0	316,04	120174 20	4806, 97	248,0 9
	52,50	17 5	324,61	123080 25	4923, 21	254,8 2
	54,00	18 0	333,13	125951 71	5038, 07	261,5 1
	55,50	18 5	341,62	128788 68	5151, 55	268,1 7
	57,00	19 0	350,07	131591 26	5263, 65	274,8 0
	60,00	20 0	366,83	137093 75	5483, 75	287,9 6
	63,00	21 0	383,43	142460 04	5698, 40	300,9 9
	66,00	22 0	399,87	147691 02	5907, 64	313,9 0
* Указанные значения являются справочными.						

Условия вариантов задания на проектирование

Рассчитать и спроектировать стальную ферму покрытия (см. рис.). Проектное задание включает следующие исходные данные:

- а) пролет (расстояние между опорами) фермы l (см. табл.);
- б) расстояние (шаг) между соседними фермами в покрытии b ;
- в) снеговой район по нагрузке S ;
- г) малоуклонная ($i = 1,5 \dots 3,5 \%$) конструкция кровельного ограждения;
- д) технологическое требование расчленения стальной фермы на минимальное число отправочных элементов полной заводской готовности с монтажными стыками на болтовых соединениях без сварки.



Исходные данные вариантов

№	l,м	b,м	S	i,%	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	24	30	6	I	3,5	49	24	12	II	3,5
0	42	6	III	2,5	25	33	12	II	1,5	50	27	6	III	1,5
1	15	12	VIII	1,5	26	36	6	III	2,5	51	30	12	IV	2,5
2	18	6	VII	2,5	27	39	12	IV	3,5	52	33	6	V	3,5
3	21	12	VI	3,5	28	15	6	V	3,5	53	36	12	VI	1,5
4	24	6	V	1,5	29	18	12	VI	2,5	54	39	6	VII	2,5
5	27	12	IV	2,5	30	21	6	VII	1,5	55	15	12	VIII	3,5
6	30	6	III	3,5	31	24	12	VIII	3,5	56	18	6	I	1,5
7	33	12	II	1,5	32	27	6	I	2,5	57	21	12	II	2,5
8	36	6	I	2,5	33	30	12	II	1,5	58	24	6	III	3,5
9	39	12	II	3,5	34	33	6	III	3,5	59	27	12	IV	1,5
10	15	6	III	1,5	35	36	12	IV	2,5	60	30	6	V	2,5
11	18	12	IV	2,5	36	39	6	V	1,5	61	33	12	VI	3,5
12	21	6	V	3,5	37	15	12	VI	3,5	62	36	6	VII	1,5
13	24	12	VI	1,5	38	18	6	VII	2,5	63	39	12	VIII	2,5
14	27	6	VII	2,5	39	21	12	VIII	1,5	64	15	6	VII	3,5
15	30	12	VIII	3,5	40	24	6	I	2,5	65	18	12	VI	1,5
16	33	6	I	1,5	41	27	12	II	3,5	66	21	6	V	2,5
17	36	12	II	2,5	42	30	6	III	1,5	67	24	12	IV	3,5
18	39	6	III	3,5	43	33	12	IV	2,5	68	27	6	III	1,5
19	15	12	IV	1,5	44	36	6	V	3,5	69	30	12	II	2,5
20	18	6	V	2,5	45	39	12	VI	1,5	70	33	6	I	3,5
21	21	12	VI	3,5	46	15	6	VII	2,5					
22	24	6	VII	1,5	47	18	12	VIII	3,5					
23	27	12	VIII	2,5	48	21	6	I	1,5					

№	l,м	b,м	S	i,%	№	l,м	b,м	S	i,%	№	l,м	b,м	S	i,%
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
71	36	6	I	1,5	101	15	12	III	1,5	131	24	6	I	3
72	39	12	II	2,5	102	18	6	IV	2,5	132	21	12	II	3,5
73	15	6	III	3	103	21	12	V	3	133	15	6	III	1,5
74	18	12	IV	3,5	104	24	6	VI	3,5	134	27	12	IV	1,5
75	21	6	V	1,5	105	27	12	VII	1,5	135	30	6	V	2,5
76	24	12	VI	1,5	106	30	6	VIII	1,5	136	33	12	VI	3
77	27	6	VII	2,5	107	33	12	I	2,5	137	36	6	VII	3,5
78	30	12	VIII	3	108	36	6	II	3	138	24	12	VIII	1,5

<i>N</i> _г	<i>l</i> ,м	<i>b</i> ,м	<i>S</i>	<i>i</i> ,%	<i>N</i> _г	<i>l</i> ,м	<i>b</i> ,м	<i>S</i>	<i>i</i> ,%	<i>N</i> _г	<i>l</i> ,м	<i>b</i> ,м	<i>S</i>	<i>i</i> ,%
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
79	33	6	I	3,5	109	39	12	III	3,5	139	15	6	I	2,5
80	36	12	II	1,5	110	33	6	IV	1,5	140	18	12	II	3
81	39	6	III	2,5	111	24	12		2,5	141	21	6	III	3,5
82	36	12	IV	3	112	15	6	III	3	142	24	12	IV	2,5
83	33	6	V	3,5	113	18	12	IV	3,5	143	27	6	V	1,5
84	30	12	VI	2,5	114	21	6	V	2,5	144	30	12	VI	3
85	27	6	VII	3	115	24	12	VI	3	145	33	6	VII	3,5
86	24	12	VIII	3,5	116	27	6	VII	3,5	146	36	12	VIII	1,5
87	21	6	V	1,5	117	30	12	VIII	1,5	147	39	6	V	1,5
88	18	12	VI	2,5	118	24	6	V	2,5	148	24	12	VI	2,5
89	15	6	VII	3	119	27	12	VI	3	149	18	6	VII	3
90	18	12	VIII	3,5	120	30	6	VII	3,5	150	15	12	VIII	3,5
91	21	6	I	2,5	121	33	12	VIII	2,5	151	18	6	I	1,5
92	24	12	II	3	122	36	6	VII	3	152	21	12	II	2,5
93	27	6	III	3,5	123	39	12	VIII	3,5	153	24	6	III	3
94	30	12	IV	1,5	124	36	6	V	1,5	154	27	12	IV	3,5
95	33	6	V	2,5	125	33	12	VI	2,5	155	30	6	V	2,5
96	36	12	VI	3	126	30	6	I	3	156	33	12	VI	2,5
97	39	6	VII	3,5	127	27	12	II	3,5	157	36	6	VII	3
98	15	12	VIII	2,5	128	24	6	III	2,5	158	39	12	VIII	3,5
99	18	6	I	3	129	21	12	IV	3	159	30	6	I	1,5
100	21	12	II	3,5	130	18	6	V	3,5	160	24	12	II	2,5

Приложение 3

Пример оформления первой (титульной) страницы расчетно-пояснительной записки

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) СКФУ в г. Пятигорске

**РАСЧЕТНО – ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ
ЗАПИСКА**

Курсового проекта
по металлическим конструкциям

Вариант 0

Студент группы П-СТР-б-о-161
Преподаватель

И.И. Иванов
П.П.Петров

Пятигорск 2006

Приложение 4

Пример оформления второй (рядовой) станции

1. Исходные данные

Вариант 0

Рассчитать и спроектировать стальную ферму покрытия. Проектное задание включает следующие исходные данные:

- а) пролет (расстояние между опорами) фермы $l = 42$ м;
- б) расстояние (шаг) между соседними фермами в покрытии $b = 6$ м;
- в) снеговой район по нагрузке S - III;
- г) малоуклонная конструкция кровельного ограждения – $i = 2,5\%$;
- д) технологическое требование расчленения стальной фермы на минимальное число отправочных элементов полной заводской готовности с монтажными стыками на болтовых соединениях без сварки.

Рассматриваемая стальная ферма покрытия имеет пролет $l = 42$ м. Шаг фермы (расстояние между фермами) составляет $b = 6$ м. Место строительства относится к третьему району по снеговой нагрузке. Подвеска подъемно-транспортного и другого технологического оборудования не предусмотрена, поэтому высота фермы принята $h = l/12 = 42/12 = 3,5$ м, а нормируемый предельный прогиб – $f_u = l/300 = 4200/300 = 14,0$ см при $l > 36$ м.

Ферма включает параллельные пояса, треугольную систему решетки с дополнительными стойками и состоит из трех отправочных марок. Две из них имеют длину 18 м и строительный подъем, обеспечивающий двухскатному покрытию уклон $i = 0,025$ (2,5%). Между этими марками расположена горизонтальная ($i = 0$) 6-метровая вставка. Отправочные марки стыкуются между собой при помощи болтовых соединений на фланцах. Монтажные стыки с узлами, имеющими изломы поясов, и включают соединения дополнительных стержневых элементов решетки.

