

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Клочков Юрий Сергеевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 30.09.2026 11:26:57
Уникальный программный ключ:
3beb265d5d589e7ff4c954946f3ad99a1e70ac12

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.П. Малышкин, А.В. Есипов, А.И. Бараняк

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 6FA44C50384686A8E7BD5E27735179BC
Владелец: Ефремова Вероника Васильевна
Действителен: с 14.06.2022 до 07.09.2023

Тюмень
ТИУ
2020

ДК 316.614-053.81(075)
ББК 60.54я7
Л 47

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент А.А. Ефимов
председатель совета СРО проектировщиков Западная Сибирь
А.С. Иванов

Л 47 **Малышкин А.П.** Практическое проектирование стальных конструкций: учебное пособие / А.В. Есипов, А.И. Бараняк. – Тюмень: ТИУ, 2020. – 155 с.

ISBN 978-5-9961-1095-7

Учебное пособие содержит необходимую теоретическую, методическую и практическую основу для проведения лекционных и семинарских занятий; организации самостоятельной работы студентов по дисциплинам и спецкурсам направления - строительство. Особое внимание уделяется особенностям практического проектирования стальных конструкций.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений всех форм обучения направлений строительного профиля («Промышленное и гражданское строительство», «Строительство уникальных зданий и сооружений», «Городское строительство и хозяйство», «Проектирование зданий и сооружений»); специалистам, работающим в области проектирования гражданских, промышленных зданий и сооружений с применением металлических конструкций, инженеров проектировщиков, имеющих навыки в расчете и конструировании строительных конструкций как пособие по практическому конструированию и проектированию стальных конструкций зданий и сооружений, в том числе с использованием различных расчетных программ.

Материалы учебного пособия предназначены для более глубокого освоения учебного материала по дисциплинам «Металлические конструкции»; «Большепролетные строительные конструкции» и спецкурсу «Металлические конструкции».

УДК 316.614-053.81(075)
ББК 60.54я7

ISBN 978-5-9961-1095-7

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тюменский индустриальный
университет», 2016

Содержание	
Введение	5
1. Область применения	7
2. Термины и определения	8
3. Материалы для конструкций и соединений	11
3.1 Материалы для конструкций	11
3.2 Материалы для сварки стальных конструкций:	12
3.3 Материалы для болтовых соединений:	12
3.4 Правила использования профилей в строительных конструкциях	13
4. Проектирование соединений стальных конструкций	14
5. Сварные соединения	15
6. Болтовые соединения	27
6.1 Классификация болтов.	27
6.2 Классификация болтовых соединений	28
6.3 Конструктивные требования.	29
6.4 Размещение болтов.	29
6.5 Основы расчета болтовых соединений	32
6.6 Фрикционные соединения на высокопрочных болтах	35
6.7 Фланцевые соединения на высокопрочных болтах.	37
7. Каркасные здания	44
7.1 Малоэтажные и одноэтажные промышленные здания	44
7.1.1 Размещение колонн	44
7.1.2 Расстояния между температурными швами	44
7.1.3 Обеспечение жесткости и пространственной устойчивости каркаса	45
7.1.4 Связи по покрытию	47
7.2 Многоэтажные здания	48
7.2.1 Планировочные решения	49
7.2.2 Обеспечение пространственной устойчивости	49
8. Колонны	57
8.1 Центральные-сжатые колонны	57
8.1.1 Колонны постоянного сечения	57
8.1.2 Колонны переменного сечения	58
8.1.3 Сквозные колонны	59
8.1.4 Внецентренно-сжатые колонны	60
8.1.5 Расчетные длины колонн (стоек)	61
8.2 Детали и узлы колонн	61
8.2.1 Базы колонн	61
8.2.2 Жесткое сопряжение колонны с фундаментом	62
8.2.3 Шарнирное сопряжение колонны с фундаментом	63
8.2.4 Базы без траверс	66
8.2.5 Базы с траверсами	67
8.2.6 Основные типы анкерных болтов и область их применения	68
8.2.7 Оголовки колонн	70

8.2.8 Консоли колонн	77
9. Балки	79
9.1 Прокатные балки	80
9.2 Составные балки	80
10. Фермы	85
10.1 Общие положения и классификация ферм	85
10.2 Определение генеральных размеров ферм	89
10.3 Обеспечение устойчивости ферм	90
10.4 Типы сечений стержневых ферм	92
10.5 Определение усилий	94
10.6 Подбор сечений элементов ферм	95
10.7 Общие требования к конструированию ферм с фасонками	95
10.8 Фермы из парных уголков	96
10.9 Фермы из гнутосварных замкнутых профилей	99
11. Связи по каркасу	101
11.1 Поперечные связи по верхним поясам ферм	101
11.2 Вертикальные связи между фермами	105
11.3 Продольные горизонтальные связи по нижним поясам ферм	108
11.4 Поперечные связи в плоскости нижних поясов ферм	111
11.5 Вертикальные связи между колоннами	113
12. Защита стальных конструкций от коррозий и пожара	118
12.1 Общие указания	118
12.2 Подготовка поверхности перед окрашиванием	118
12.3 Нанесение антикоррозионных покрытий	119
12.4 Защита монтажных соединений на болтах	120
12.5 Пожарная безопасность	120
Заключение	123
Приложение 1	124
Библиографический список	151

Введение

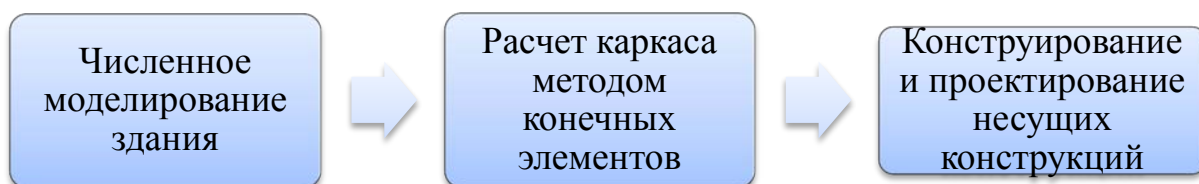
История применения железа, а позже и стали для нужд строительства восходит к XVI–XVII векам прошлого тысячелетия. В XIX веке, благодаря обширным исследованиям многих российских инженеров, а особенно трудами Н.А. Белелюбского сталь навсегда вошла в практику мостостроения, а затем начала применяться в несущих каркасах гражданских зданий. Благодаря совместной работе металлургов и инженеров строителей созданы сотни марок стали и видов сортового проката с фантастическими физико-механическими свойствами.

В современном мире невозможно найти ни одного из сколь-нибудь известных сооружений, которое было бы возведено без применения стальных конструкций.

На сегодняшний день существует огромное количество учебников и учебных пособий по стальным конструкциям, которые ведут свои истоки с 50-х годов прошлого века во времена бурного развития промышленного строительства в СССР. Основная цель, той учебной литературы, обучить студента основам расчета стальных конструкций для выполнения курсового проекта и успешной сдачи экзамена.

За последние десятилетия в технологии расчета, проектирования и производства стальных конструкций произошел гигантский скачок: в практику проектирования внедряются BIM¹ технологии и связанные с ним расчетные программные комплексы.

Получив новые инструменты и подходы к расчету и проектированию, инженерам-проектировщикам приходится вырабатывать свои алгоритмы проектирования стальных конструкций, как правило, сводящиеся к цепочке последовательных действий:



Одновременно с этим, в учебной литературе достаточно освещены подходы к расчету отдельных элементов конструкций в соответствии с действующими нормами, однако здание в целом, а также алгоритмы взаимосвязи между отдельными этапами проектирования отсутствуют полностью.

Основной целью книги является поделиться с читателями опытом проектирования и практических расчетов относительно несложных, часто встречающихся зданий со стальным каркасом и попытаться дать алгоритм проектирования стальных конструкций как последовательность действий при проектировании основных элементов здания при помощи самых рас-

¹Building Information Modeling

пространенных инструментов: графических и расчетных программ с учетом требований современных строительных норм.

Идея написания книги возникла у авторов в результате взаимодействия и сосуществования двух сфер жизненных интересов: преподавания в "Тюменском индустриальном университете" на кафедрах "Строительных конструкций" и "Проектирования зданий и градостроительства", а также имеющегося многолетнего опыта приобретённого в ходе реального проектирования стальных конструкций зданий и сооружений, прохождения многочисленных государственных экспертиз реальных объектов и осуществления авторского надзора в процессе строительства.

В ходе анализа, унификации и типизации проектных решений стальных конструкций, разработанных в рамках реально выполненных проектов, появилась необходимость изложить накопленный практический опыт в едином алгоритме, который может являться пособием для инженеров.

Для расчетов и проектирования конструкций использованы такие лицензионные программные комплексы: MicroFe от компании TechSoft, Revit и AutoCad от компании Autodesk.

Особую благодарность авторы выражают инженерам компании ООО "НПК "Сибстрой Инжиниринг" за помощь и неоценимый интеллектуальный вклад в разработку технических решений, которые были использованы при написании настоящего пособия.

1. Область применения

В рамках данного учебного пособия рассмотрены гражданские и промышленные здания, за исключением зданий с мостовыми кранами.

Учебное пособие распространяется на проектирование стальных конструкций зданий, пространственная устойчивость которых обеспечивается системой вертикальных, горизонтальных связей и распорок по колоннам и покрытию, а так же жесткостью узлов сопряжения элементов каркаса, в том числе:

- колонны из прокатных профилей (в т.ч. колонны фахверка);
- балки из прокатных профилей (в т.ч. прогоны покрытия);
- фермы из гнутых замкнутых коробчатых профилей, из уголков, и других прокатных профилей;
- жесткие и шарнирные узлы сопряжения колонн каркаса с фундаментами;
- жесткие и шарнирные узлы сопряжения ригелей каркаса (балки, фермы) с колоннами каркаса;
- прочие узлы сопряжения конструкций (крепление связей, распорок каркаса, решетки и поясов в составе фермы, прогонов покрытия и др.)

2. Термины и определения

Сварка - получение неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании.

Ручная сварка - сварка, выполняемая человеком с помощью инструмента, получающего энергию от специального источника.

Механизированная сварка - сварка, выполняемая с применением машин и механизмов, управляемых человеком.

Автоматическая сварка - сварка, выполняемая машиной, действующей по заданной программе, без непосредственного участия человека.

Автомат для дуговой сварки - аппарат для автоматической дуговой сварки.

Полуавтомат для дуговой сварки - аппарат для механизированной дуговой сварки, включающий горелку и механизм подачи проволоки с ручным перемещением горелки.

Дуговая сварка плавящимся электродом - дуговая сварка, выполняемая электродом, который, расплавляясь при сварке, служит присадочным металлом.

Дуговая сварка неплавящимся электродом - дуговая сварка, выполняемая нерасплавляющимся при сварке электродом.

Дуговая сварка под флюсом - дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса.

Дуговая сварка в защитном газе - дуговая сварка, при которой дуга и расплавляемый металл, а в некоторых случаях, и остывающий шов, находятся в защитном газе, подаваемом в зону сварки с помощью специальных устройств.

Механизированная дуговая сварка - дуговая сварка, при которой подача плавящегося электрода или присадочного металла, или относительное перемещение дуги и изделия выполняются с помощью механизмов.

Автоматическая дуговая сварка - механизированная дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача плавящегося электрода или присадочного металла и относительное перемещение дуги и изделия осуществляются механизмами без непосредственного участия человека, в том числе и по заданной программе.

Сварное соединение - неразъемное соединение, выполненное сваркой.

Сварной шов - участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации.

Металл шва - сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным металлом.

Основной металл - металл подвергающихся сварке соединяемых частей.

Зона сплавления - зона, где находятся частично оплавленные зерна металла на границе основного металла и металла шва. Эта зона нагрева ниже температуры плавления. Нерасплавленные зерна в этой зоне разъединяются жидкими прослойками, связанными с жидким металлом сварочной ванны и в эти прослойки имеют возможность проникать элементы, введенные в ванну с дополнительным металлом или сварочными материалами. Поэтому химический состав этой зоны отличен от химического состава основного металла.

Зона термического влияния - участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке, наплавке или резке.

Монтажный шов - сварной шов, выполняемый при монтаже конструкции.

Катет углового шва - кратчайшее расстояние от поверхности одной из свариваемых частей до границы углового шва на поверхности второй свариваемой части.

Расчетная высота углового шва - длина перпендикуляра, опущенного из точки максимального проплавления в месте сопряжения свариваемых частей на гипотенузу наибольшего вписанного во внешнюю часть углового шва прямоугольного треугольника.

Ширина сварного шва - расстояние между видимыми линиями сплавления на лицевой стороне сварного шва при сварке плавлением.

Разделка кромок - придание кромкам, подлежащим сварке, необходимой формы.

Скос кромки - прямолинейный наклонный срез кромки, подлежащей сварке.

Притупление кромки - нескошенная часть торца кромки, подлежащей сварке.

Угол скоса кромки - острый угол между плоскостью скоса кромки и плоскостью торца.

Угол разделки кромок - угол между скошенными кромками свариваемых частей.

Зазор - кратчайшее расстояние между кромками собранных для сварки деталей.

Сварочная проволока - проволока для использования в качестве плавящегося электрода либо присадочного металла при сварке плавлением.

Электродная проволока - сварочная проволока для использования в качестве плавящегося электрода.

Присадочная проволока - сварочная проволока для использования в качестве плавящегося электрода.

Порошковая проволока - сварочная проволока, состоящая из металлической оболочки, заполненной порошкообразными веществами.

Сварочный флюс - материал, используемый при сварке для химической очистки соединяемых поверхностей и улучшения качества шва. Сварочный флюс защищает дугу и сварочную ванну от вредного воздействия окружающей среды и осуществляющий металлургическую обработку ванны.

Коррозия металлов - разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой.

Коррозионная среда - среда, в которой происходит коррозия металла.

Коррозионная стойкость - Способность металла сопротивляться коррозионному воздействию среды.

Стальная труба - Изделие из стали кольцеобразного, овального, многоугольного или иной формы полого поперечного сечения относительно большой длины.

Бесшовная стальная труба - Стальная труба, не имеющая сварного шва или другого соединения, изготовленная одним из способовковки, прокатки, волочения или прессования.

Холодно деформированная бесшовная стальная труба - бесшовная стальная труба, заданный размер которой получен способом холодной деформации.

Электросварная стальная труба - сварная стальная труба, изготовленная из штрипсов или листового проката путем формовки и электросварки.

Прямошовная электросварная стальная труба - электросварная стальная труба, изготовленная путем сварки прямого стыка, параллельного оси трубы.

Холоднодеформированная прямошовная электросварная стальная труба - электросварная стальная труба, изготовленная из штрипсов или листового проката путем формовки по спирали и непрерывной сварки стыка спиральным швом.

3. Материалы для конструкций и соединений

За расчетную температуру в районе строительства следует принимать температуру наружного воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98, определенную согласно [3].

Учет условий работы конструкций и соединений γ_c принимается по таблице 1 [1].

3.1 Материалы для конструкций

- Фасонный прокат:
 - Уголки стальные горячекатаные равнополочные по ГОСТ 8509-93;
 - Уголки стальные горячекатаные неравнополочные по ГОСТ 8510-86*;
 - Швеллеры стальные горячекатаные по ГОСТ 8240-97;
 - Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок (балочные, колонные, широкополочные) по ГОСТ 26020-83;
 - Двутавры стальные горячекатаные (с уклоном полок) по ГОСТ 8239-89;
 - Прокат стальной сортовой фасонного профиля. Двутавры с параллельными гранями полок по СТО АСЧМ 20-93.
- Листовой прокат:
 - Листы стальные с ромбическим и чечевичным рифлением по ГОСТ 8568-77;
 - Прокат листовой горячекатаный по ГОСТ 19903-2015;
 - Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обычного качества общего назначения по ГОСТ 16523-97;
 - Прокат толстолистовой из углеродистой стали обычного качества по ГОСТ 14637-89.
- Широкополосный прокат:
 - Прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный по ГОСТ 82-70.
- Гнутые профили:
 - Трубы стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций по ГОСТ 30245-2003 (с 1.01.2017г. заменен на ГОСТ 30245-2012);
 - Швеллеры стальные гнутые равнополочные по ГОСТ 8278-93;
 - Швеллеры стальные гнутые неравнополочные по ГОСТ 8281-80;
 - Уголки стальные гнутые равнополочные по ГОСТ 19771-93;
 - Уголки стальные гнутые неравнополочные по ГОСТ 19772-93;

- Профили стальные гнутые с-образные равнополочные по ГОСТ 8282-83.
- Сортной прокат:
 - Прокат сортовой стальной горячекатаный полосовой по ГОСТ 103-2006;
 - Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый по ГОСТ 2590-2006;
 - Прокат сортовой стальной горячекатаный квадратный по ГОСТ 2591-2006;
 - Прокат сортовой стальной горячекатаный шестигранный по ГОСТ 2879-2006.
 - Трубы:
 - Трубы стальные электросварные прямошовные по ГОСТ 10704-91;
 - Трубы стальные бесшовные горячедеформированные по ГОСТ 8732-78.

3.2 Материалы для сварки стальных конструкций:

- Электроды для ручной дуговой сварки по ГОСТ 9467-75;
- Сварочная проволока по ГОСТ 2246-70;
- Углекислый газ по ГОСТ 8050-85;
- Аргон по ГОСТ 10157-79.

3.3 Материалы для болтовых соединений:

- На обычных болтах:
 - Болты класса точности В по ГОСТ 7798-70;
 - Гайки класса точности В по ГОСТ 5915-70;
 - Шайбы круглые по ГОСТ 11371-78.
- На высокопрочных болтах:
 - Болты высокопрочные по ГОСТ Р 52644-2006;
 - Гайки высокопрочные по ГОСТ Р 52645-2006;
 - Шайбы к высокопрочным болтам по ГОСТ Р 52646-2006;
- Анкерные болты:
 - Болты фундаментные (шпильки, шайбы) по ГОСТ 24379.1-2012;
 - Гайки класса точности В по ГОСТ 5915-70 (для болтов $\varnothing \leq 48\text{мм}$);

Анкерные болты следует применять согласно СП 43.13330.2012 (приложение Г).

Для фундаментных болтов из сталей СтЗпс2, СтЗсп2, СтЗсп4 – гайки класса прочности 4, из стали 09Г2С класса прочности не менее 5-го по ГОСТ Р ИСО 898-2-2013 для болтов $\varnothing \leq 48\text{мм}$.

3.4 Правила использования профилей в строительных конструкциях

1. При проектировании строительных конструкций следует компоновать каждый элемент и весь объект в целом из минимально необходимого числа различных профилей.

2. Применяемые в одном отправочном элементе уголки, тавры, полосы одного номинального размера, но разной толщины должны иметь разность толщин одноименных профилей не менее 2мм.

3. Не допускается применять в одном отправочном элементе одинаковые профилиразмеры из разных марок сталей.

4. Применение в одном объекте профилированных листов одной номинальной высоты разной толщины не допускается.

4. Проектирование соединений стальных конструкций

В современном строительстве для соединения стальных конструкций применяют два основных вида *сварные* и *болтовые*.

Сварные соединения являются основным видом соединений в строительных конструкциях. Сварка позволяет получить простую конструктивную форму соединения, дает экономию металла по сравнению с болтовыми соединениями, позволяет применять высокопроизводительные механизированные способы изготовления. С помощью сварки можно получить практически любую конструктивную форму. Сварные соединения обладают свойством газо- и водонепроницаемости. Однако сварка является мощным энергетическим процессом и вносит в область соединения элементов серьезные изменения в свойства исходного металла. В области сварного соединения часто возникает геометрическая неоднородность. Возможные дефекты сварных швов, что так же создает неоднородность соединений.

Болтовые соединения появились раньше сварных в замен соединений на заклепках.

Простота соединения и надежность в работе способствовали их широкому распространению в строительстве при монтаже металлических конструкций. Однако болтовые соединения более металлоемки, чем сварные, так как имеют стыковые накладки, а отверстия для болтов ослабляют сечения элементов.

Болтовые соединения применяют преимущественно при монтаже металлических конструкций, так как совпадение отверстий соединяемых элементов автоматически контролирует правильность их установки и взаимного расположения; болты дают возможность плотно стянуть соединяемые элементы. Установить болт достаточно просто, для этого не требуется специального оборудования и подвода энергии. Болтовые соединения выполняют на обычных и высокопрочных болтах.

Фрикционные соединения: при действии на такое соединение сдвигающих сил между соединяемыми элементами возникают силы трения, препятствующие сдвигу этих элементов относительно друг друга. Таким образом, высокопрочный болт, работая на осевое растяжение, обеспечивает передачу сил сдвига трением между соединяемыми элементами.

Во фланцевых соединениях используются высокопрочные болты с предварительным натяжением и без него, в зависимости от напряженно-деформированного состояния соединения.

5. Сварные соединения

При проектировании сварных соединений следует:

- принимать минимально необходимые размеры сварных швов, применять минимально необходимое количество расчетных и конструктивных сварных швов;
- предусматривать применение высокопроизводительных механизированных способов сварки;
- предусматривать применение эффективных сварочных материалов (электродов, электродных проволок, защитных газов, флюсов);
- предусматривать такое расположение и размеры сварных швов, при которых максимально сокращалась бы необходимость кантовки конструкций при их изготовлении, а также уменьшились бы размеры соединяемых деталей;
- обеспечивать свободный доступ к местам наложения швов и удобное пространственное положение с учетом выбранного способа и технологии сварки, а также принятого метода неразрушающего контроля шва.

Классификация сварных швов и соединений.

- По форме сопряжения соединяемых деталей (элементов) различают следующие типы сварных соединений: стыковые, угловые, тавровые, нахлесточные (Рис. 5.1).

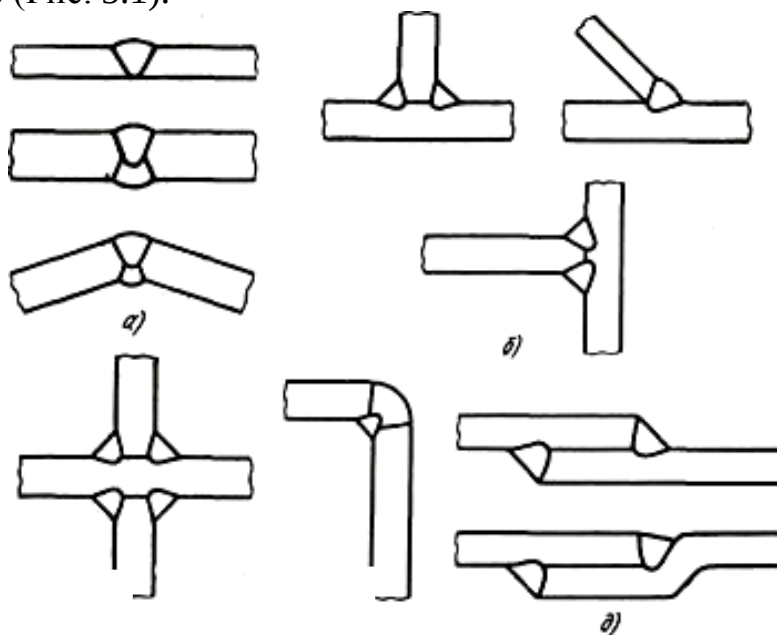


Рис. 5.1 Основные типы сварных соединений:

а - стыковые; б - тавровые; в - угловые; г - нахлесточные

- Сварные швы подразделяют по форме поперечного сечения на стыковые (Рис. 5.2, а) и угловые (Рис. 5.2, б).

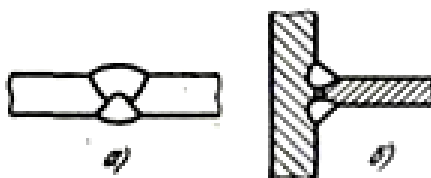


Рис. 5.2 Основные типы сварных швов:

а - стыковые; б - угловые

С помощью стыковых швов образуют в основном стыковые соединения (Рис. 5.1, а), с помощью угловых швов — тавровые, крестовые, угловые и нахлесточные соединения (Рис. 5.1, б, в, г).

Стыковое соединение наиболее распространено в сварных конструкциях, поскольку имеет ряд преимуществ перед другими видами соединений. Его применяют в широком диапазоне толщины свариваемых деталей от десятых долей миллиметра до сотен миллиметров почти при всех способах сварки. При стыковом соединении на образование шва расходуетс меньше присадочного материала, легко и удобно контролировать качество.

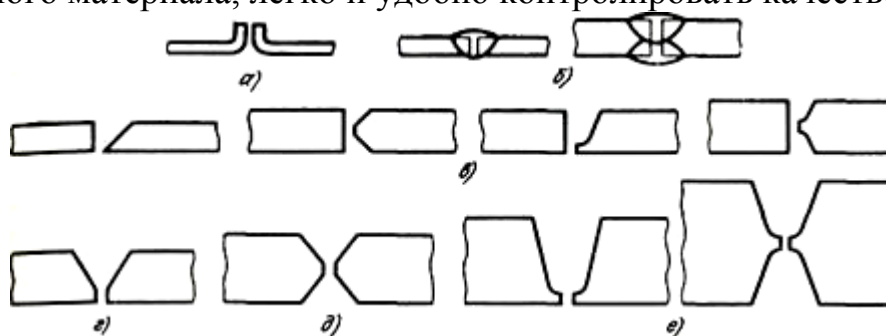


Рис. 5.3 Подготовка кромок стыковых швов:

а - с отбортовкой кромок; б - без разделки кромок; в, г, д, е - с разделками кромок

Угловые швы различают по форме подготовки свариваемых кромок в поперечном сечении и сплошности шва по длине.

По форме поперечного сечения угловые швы могут быть без разделки кромок, (Рис. 5.4 а), с односторонней разделкой кромки (Рис. 5.4, б), с двусторонней разделкой кромок (Рис. 5.4, в).

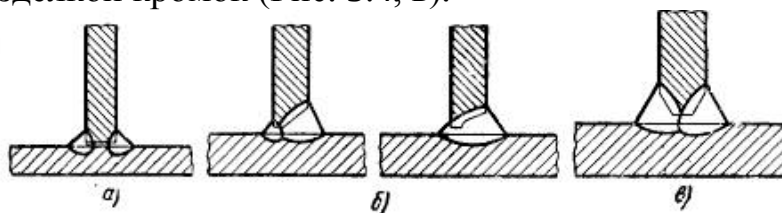


Рис. 5.4 Подготовка кромок угловых швов тавровых соединений:

а - без разделки кромок; б, в - с разделкой кромки

По протяженности угловые швы могут быть непрерывными (Рис. 5.5, а) и прерывистыми (Рис. 5.5, б, в, г, д), с шахматным (Рис. 5.5 б, д) и цепным (шпоночным) расположением отрезков шва (Рис. 5.5, г). Тавровые, нахлесточные и угловые соединения могут быть выполнены отрезками швов небольшой протяженности - точечными швами (Рис. 5.5, д).

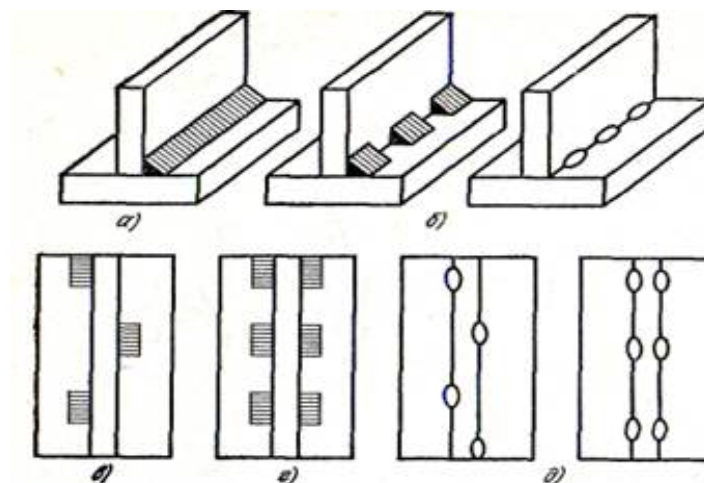


Рис. 5.5 Угловые швы тавровых соединений

- По форме в продольном направлении различают швы непрерывные и прерывистые.

- По действующему усилию швы делят на продольные (фланговые), поперечные (лобовые), комбинированные, косые (Рис. 5.6).

Лобовой шов расположен перпендикулярно к усилию P , фланговый - параллельно, а косой - под углом.

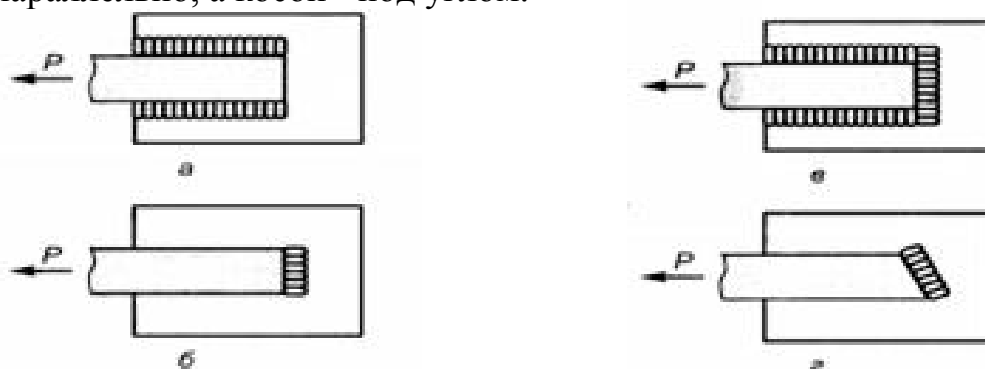


Рис. 5.6 Классификация швов по действующему усилию:

а - продольные (фланговые); б - поперечные (лобовые); в - комбинированные; г - косые

- По положению швов в пространстве различают нижние, горизонтальные, вертикальные и потолочные швы (Рис. 5.7). Отличаются они друг от друга углами, под которыми располагается поверхность свариваемой детали относительно сварщика. Наиболее труден для исполнения потолочный шов, лучше всего шов формируется в нижнем положении. Потолочные, вертикальные и горизонтальные швы приходится выполнять при монтаже крупногабаритных конструкций.

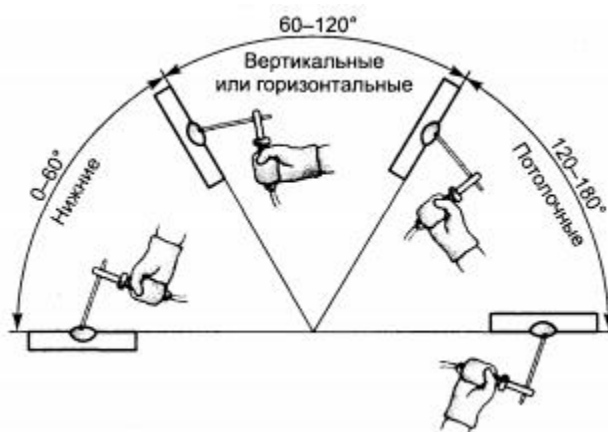


Рис. 5.7 Классификация сварных швов по их положению в пространстве

- По способу выполнения различают сварку: одностороннюю и двустороннюю, однослойную и многослойную.

Одностороннюю сварку стыкового сварного соединения выполняют со сквозным проплавлением кромок на подкладке или без подкладки (на весу). Двустороннюю сварку выполняют с зачисткой (удалением) корня шва (механической обработкой) перед сваркой обратной стороны сварного соединения или без зачистки корня шва. При двусторонней сварке зачастую приходится кантовать изделие или вести сварку в трудном потолочном положении.

Многослойный шов (Рис. 5.8) применяют при сварке металла большой толщины, а также для уменьшения зоны термического влияния.

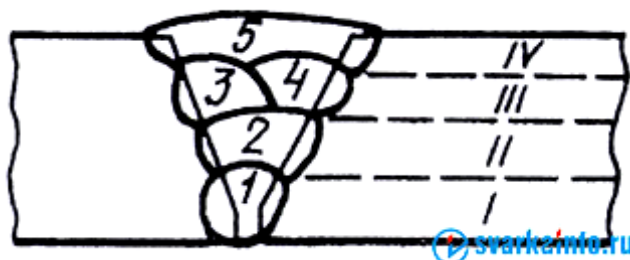


Рис. 5.8 Многослойный шов

Катеты сварных угловых швов, соответствующие минимальным по Таблица 5.4, на чертежах конструкций не указываются. Указываются катеты швов, принимаемые по расчету больше минимальных. Обозначение швов в этом случае можно указывать без выносных линий, помещая их непосредственно над или под изображением соответствующего сварного шва вне зависимости от того, является ли сварной шов видимым или невидимым.

В таблице 5.1 представлено условное изображение сварных швов на чертежах металлоконструкций.

Таблица 5.1

Условные изображения сварных швов

Наименование	Изображение сварного шва		Размеры, мм
	заводского	монтажного	
Шов сварного соединения стыкового – сплошной: С видимой стороны С невидимой стороны			
Шов сварного соединения стыкового – прерывистый: С видимой стороны С невидимой стороны			
Шов сварного соединения углового, таврового или внахлестку – сплошной: С видимой стороны С невидимой стороны			
Шов сварного соединения углового, таврового или внахлестку – прерывистый: С видимой стороны С невидимой стороны			
k_f – катет углового шва; l – длина свариваемого участка; a – размер шва			

Типы, конструкции и размеры сварных соединений следует принимать:

- Для ручной дуговой сварки по ГОСТ 5264-80 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры», ГОСТ 11534-75* «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острым и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры». Ручная дуговая сварка применяется для выполнения прихваток при сборке конструкций, при исправлении дефектов сварных соединений, при выполнении сварных швов, расположенных в труднодоступных местах, или в различных пространственных положениях, когда применение механизированных способов сварки нецелесообразно.
- Для механизированной сварки в защитных газах (применяются плавящиеся или неплавящиеся электроды) по ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры», ГОСТ 23518-79 «Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острым и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры». При сварке в углекислом газе проволокой диаметром 0,8 - 1,4 мм допускается при-

менять основные типы сварных соединений и их конструктивных элементов по ГОСТ 5264-80 и ГОСТ 11534-75*.

Механизированная сварка в защитных газах широко применяется на заводах при изготовлении металлоконструкций единичного характера. Автоматическая сварка под флюсом применяется для укрупнения листовых заготовок при сварке связующих швов в элементах составного сечения, при изготовлении полотнищ резервуаров.

Нормативные и расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами принимаются по Таблице 5.2.

Таблица 5.2

Материалы для сварки, соответствующие пределу текучести стали

Сталь	Материалы для сварки				
	в углекислом газе (по ГОСТ 8050) или в его смеси с аргонном (по ГОСТ 10157)	под флюсом (по ГОСТ 9087)	порошковой проволокой (по ГОСТ 26271)	покрытыми электродами (по ГОСТ 9467)	
	Марка				Тип электрода
	сварочной проволоки для автоматической и механизированной сварки (по ГОСТ 2246)	флюса	порошковой проволоки		
$R_{yn} < 290 \text{ Н/мм}^2$	Св-08Г2С	Св-08А	АН-348-А АН-60* ПФК-56С****	ПП-АН-3 ПП-АН-8	Э42, Э42А
		Св-08ГА			Э46, Э46А
$290 \text{ Н/мм}^2 \leq R_{yn} < 590 \text{ Н/мм}^2$		Св-10ГА			Э50, Э50А
		Св-10Г2** Св-10НМА			
$R_{yn} \geq 590 \text{ Н/мм}^2$	Св-08Г2С Св-08ХГСМА	Св-10НМА	АН-17-М ПФК-56С****	ПП-АН-3 ПП-АН-8	Э60
	Св-10ХГ2СМА	Св-08ХН2ГМЮ			Э70

* Флюс АН-60 и электроды типа Э42, Э46, Э50 следует применять для конструкций групп 2, 3 при расчетных температурах $t \geq -45^\circ\text{C}$.

** Не применять в сочетании с флюсом АН-43.

*** Для флюса АН-348-А требуется дополнительный контроль механических свойств металла шва при сварке соединений элементов всех толщин при расчетных температурах $t < -45^\circ\text{C}$ и толщин свыше 32 мм - при расчетных температурах $t \geq -45^\circ\text{C}$.

**** Керамический флюс по ТУ 59295-001-56315282-2004.

Примечание - При соответствующем технико-экономическом обосновании для сварки конструкций разрешается использовать сварочные материалы (проволоки, флюсы, защитные газы), не указанные в настоящей таблице. При этом механические свойства металла шва, выполняемого с их применением, должны быть не ниже свойств, обеспечиваемых применением материалов согласно настоящей таблице.

Таблица 5.3

Нормативные и расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами.

Сварочные материалы		R_{wun} , Н/мм ²	R_{wf} , Н/мм ²
тип электрода (по ГОСТ 9467)	марка проволоки		
Э42, Э42А Э46, Э46А Э50, Э50А	СВ-08, СВ-08А	410	180
	СВ-08ГА,	450	200
	СВ-08Г2С, СВ-10ГА, ПП-АН-8, ПП-АН-3	490	215
Э60	СВ-08Г2С*, СВ-10НМА, СВ-10Г2	590	240
Э70	СВ-10ХГ2СМА, СВ-08ХН2ГМЮ	685	280
Э85	-	835	340
* Только для швов с катетом $k_f \leq 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 Н/мм ² и более.			

Требования к размерам сварных швов и конструкции соединений:

- При конструировании сварных узлов конструкции следует избегать пересечения сварных швов.
- Катет углового шва k_f не должен превышать $1,2t$, где t – наименьшая из толщин свариваемых элементов;
- Катет шва, наложенный на закругленную кромку фасонного проката толщиной t , как правило, не должен превышать $0,9t$.
- Катет углового шва должен удовлетворять требованиям расчета и быть не меньше указанного в Таблица 5.4.

Таблица 5.4

Минимальные катеты шва k_f

Вид сварки при диаметре сварочной проволоки сплошного сечения d , мм	Положение шва	Коэффициент	Значения коэффициентов β_f и β_z при нормальных режимах сварки и катетах швов, мм			
			3 - 8	9 - 12	14 - 16	св. 16
Автоматическая при $d = 3 - 5$	В лодочку	β_f	1,1			0,7
		β_z	1,15			1,0
	Нижнее	β_f	1,1	0,9		0,7
		β_z	1,15	1,05		1,0
Автоматическая и механизированная при $d = 1,4 - 2$	В лодочку	β_f	0,9		0,8	0,7
		β_z	1,05		1,0	
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	β_f	0,9	0,8	0,7	
		β_z	1,05	1,0		
Ручная и механизированная при $d < 1,4$ или порошковой проволокой	В лодочку	β_f	0,7			
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное	β_z	1,0			

- Расчетная длина углового шва должна быть не менее $4 k_f$ и не менее 40мм;
- Расчетная длина флангового шва должна быть не более $85\beta_f k_f$, за исключением швов, в которых усилие действует на всем протяжении шва;
- Размер нахлеста должен быть не менее пяти толщин наиболее тонкого из свариваемых элементов;
- Соотношение размеров катетов угловых швов следует принимать, как правило, 1:1; при разных толщинах свариваемых элементов допускается принимать швы с неравными катетами; при этом катеты, примыкающие к более тонкому либо к более толстому элементу, должны удовлетворять перечисленным ранее требованиям.

Таблица 5.5

Значение коэффициентов β_f и β_z

Вид соединения	Вид сварки	Предел текучести стали, Н/мм ²	Минимальный катет шва k_f , мм, при толщине более толстого из свариваемых элементов t , мм						
			4 - 5	6 - 10	11 - 16	17 - 22	23 - 32	33 - 40	41 - 80
Тавровое с двусторонними угловыми швами Нахлесточное и угловое	Ручная дуговая	До 285	4	4	4	5	5	6	6
		Св. 285 до 390	4	5	6	7	8	9	10
		» 390 » 590	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматическая и механизированная	До 285	3	4	4	5	5	6	6
		Св. 285 до 390	3	4	5	6	7	8	9
		» 390 » 590	4	5	6	7	8	9	10
Тавровое с односторонними угловыми швами	Ручная дуговая	До 375	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматическая и механизированная		4	5	6	7	8	9	10
Примечание									
1. В конструкциях из стали с пределом текучести свыше 590 Н/мм ² , а также из всех сталей при толщине элементов более 80 мм минимальный катет швов следует принимать по специальным техническим условиям.									
2. В конструкциях группы 4 минимальный катет односторонних угловых швов следует уменьшать на 1 мм при толщине свариваемых элементов до 40 мм и на 2 мм - при толщине элементов свыше 40 мм.									

- Для угловых швов, размеры которых установлены в соответствии с расчетом, для элементов из стали с пределом текучести до 285Н/мм² следует, как правило, применять электродные материалы, удовлетворяющие условиям: $R_{wf} > R_{wz}$ - при механизированной сварке; $1,1 R_{wz} \leq R_{wf} \leq R_{wz} \beta_z / \beta_f$ - при ручной сварке;
- Для элементов из стали с пределом текучести свыше 285Н/мм² допускается применять электродные материалы, удовлетворяющие условию $R_{wz} < R_{wf} < R_{wz} \beta_z / \beta_f$ (здесь β_f и β_z – коэффициенты, зависящие от технологии сварки и катета шва и определяемые по Таблица 5.5, R_{wf} – расчетное сопротивление по металлу шва, R_{wz} – расчетное сопротивление по металлу границы сплавления, см. [1])

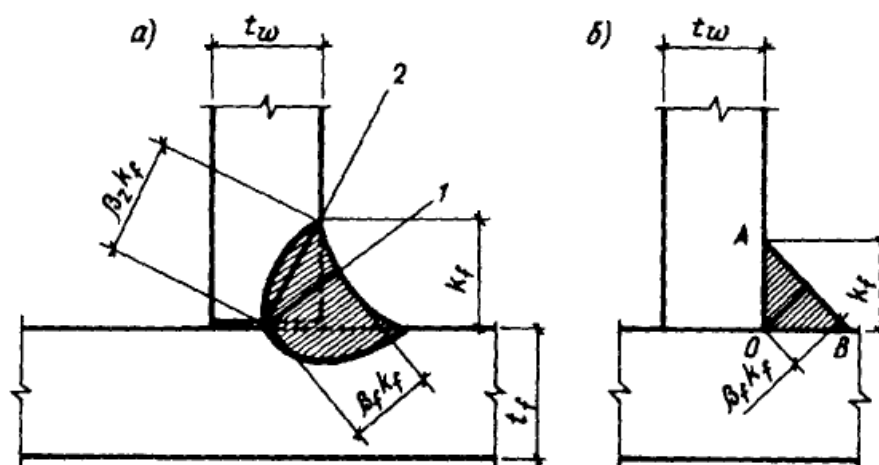


Рис. 5.9 Расчетные сечения шва:

1 – по металлу шва; 2 – по металлу границы сплавления

Физический смысл коэффициентов β_f и β_z представляет собой отношение минимальных размеров в сечении шва к катету шва (Рис. 5.9). При ручной сварке, когда глубина проплавления невелика и заштрихованную площадь на Рис. 5.9,б можно считать равносторонним прямоугольником, $\beta_f = 0,7$.

Односторонние угловые швы в тавровых соединениях элементов из стали с пределом текучести до 375 Н/мм^2 , как правило, следует применять в конструкциях, эксплуатируемых в неагрессивной или слабоагрессивной среде (классификация по [2]) в отапливаемых помещениях: для прикрепления промежуточных ребер жесткости и диафрагм - в конструкциях всех групп, кроме конструкций группы 1, рассчитываемых на усталость; для всех конструктивных элементов - в конструкциях группы 4 катеты односторонних швов следует принимать по расчету, но не менее указанных в Таблице 5.4. Прерывистые угловые сварные швы допускается применять при статической нагрузке при избыточной несущей способности непрерывного шва минимального размера для соединений в конструкциях группы 4, а также в реконструируемых конструкциях группы 3, в районах, кроме имеющих расчетную температуру ниже минус 45°C , и эксплуатируемых в неагрессивных или слабоагрессивных средах. Расстояние s между участками сварных швов (Рис. 5.10), как правило, не должно превышать одного из значений: 200мм, $12t_{\min}$ в сжатом элементе ($t_{\min}$ - толщина самого тонкого из соединяемых элементов), $16t_{\min}$ в растянутом элементе. В конструкциях группы 4 расстояние s допускается увеличить на 50%.

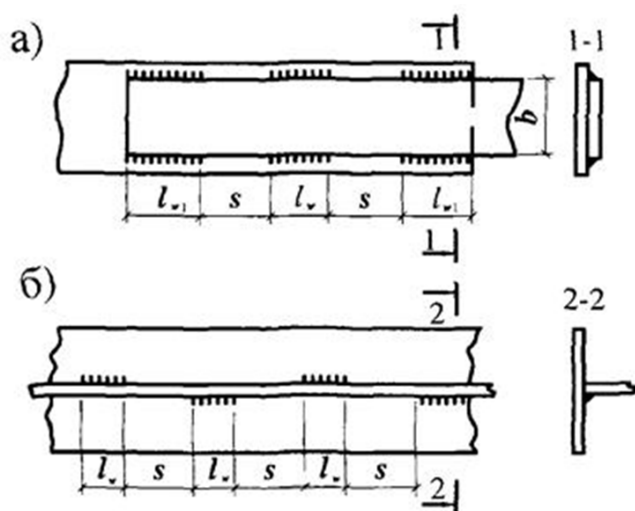


Рис. 5.10 Схема прерывистых угловых сварных швов:

а - в нахлесточном соединении; б - в тавровом соединении

При наложении прерывистого шва следует предусматривать шов по концам соединяемых частей элементов; длина l_{w1} этого шва в элементах составного сечения из пластин должна быть не менее $0,75b$, где b - ширина более узкой из соединяемых пластин.

Применение комбинированных соединений, в которых часть сдвигающего усилия воспринимается фрикционным соединением, а часть - сварными швами, не допускается при условии, что сварка выполнена после затяжки болтов на расчетное усилие и с последующей их дотяжкой в случае необходимости. Распределение усилия между фрикционными и сварными соединениями допускается принимать пропорционально их несущим способностям. Применение в комбинированных соединениях болтов без контролируемого натяжения не допускается.

Основы расчета сварных соединений

Стыковые соединения

Расчет стыковых соединений производится на действие осевой силы, проходящей через центр тяжести соединения.

Расчет сварных стыковых соединений выполнять не требуется при применении сварочных материалов по и Таблица 5.3, полном проваре соединяемых элементов и физическом контроле качества соединений при растяжении.

При отсутствии методов физического контроля для того чтобы соединение было равнопрочным основному элементу, длина шва должна быть больше размера b (см. Рис. 5.11), поэтому в соединении применяют косой шов. Косой шов с углом наклона α при $\operatorname{tg}\alpha=2:1$, как правило, равнопрочен с основным металлом и поэтому не требует проверки прочности.

В отдельных случаях, когда необходимо снизить напряжение, требуют расчета и косые швы. Действующее усилие раскладывается на усилие, перпендикулярное оси шва и усилие, действующее вдоль шва.

При действии сдвигающей силы Q на стыковой шов в шве возникают срезающие напряжения τ_w . Расчетное сопротивление при сдвиге соединения $R_{ws}=R_s$, где R_s – расчетное сопротивление основного металла на сдвиг.

Сварные стыковые соединения, выполненные без применения физических методов контроля, при одновременном действии в одном и том же сечении шва нормальных напряжений, действующих по взаимно перпендикулярным направлениям x и y , и касательных напряжений, следует проверять по формуле для расчета при одновременном действии нормальных и касательных напряжений (см. [1]).

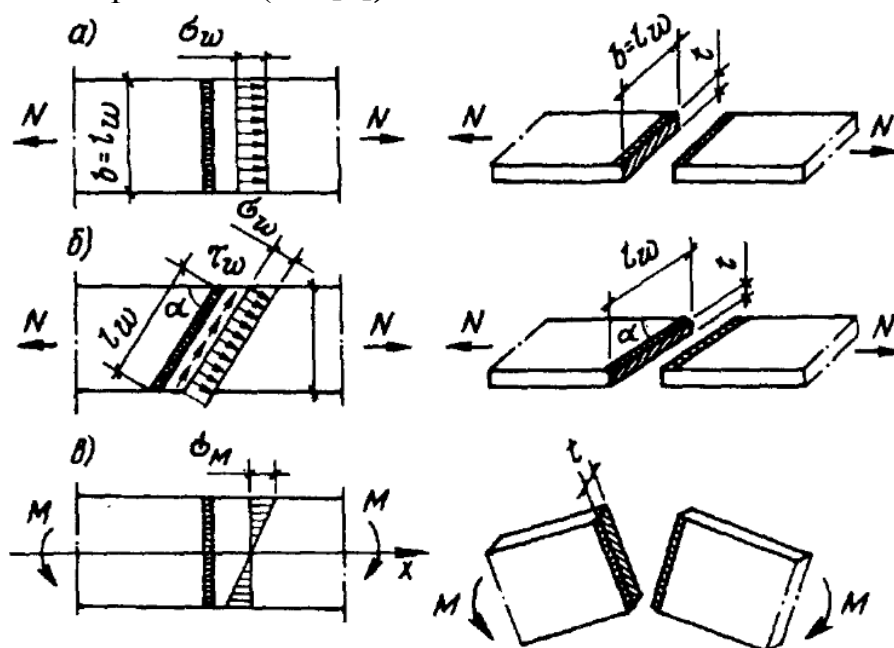


Рис. 5.11 К расчету стыковых швов:

***а – на продольную силу; б - на продольную силу стыка с косым швом;
в – на изгиб***

Сварные соединения с угловыми швами

Расчет угловых швов при действии силы N , проходящей через центр тяжести соединения, выполняется на срез (условный) по одному из двух сечений – по металлу шва или по металлу границы сплавления (см. Рис. 5.9). Не смотря на то, что угловые швы работают всегда в условиях сложного напряженного состояния, характер их разрушения показывает, что доминирующим напряжением является срезающее. Поэтому технические нормы и правила допускают производить расчет на срез, названный «условным».

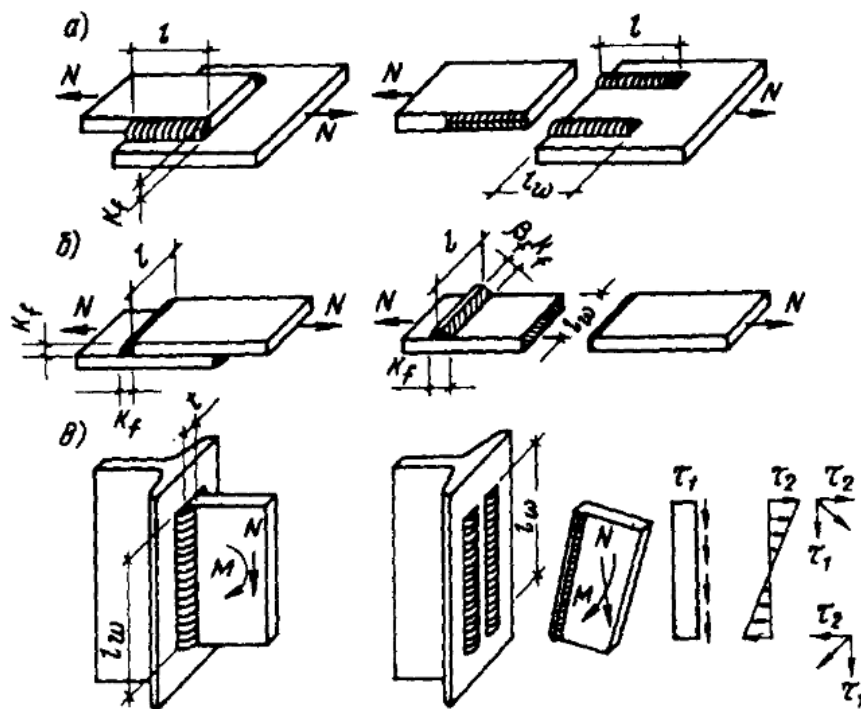


Рис. 5.12

К расчету угловых швов:

а – на разрушение соединений с фланговыми швами; б – с лобовыми швами; в – работающих на изгиб

Сварные соединения с угловыми швами при действии момента в плоскости, перпендикулярной плоскости расположения швов, рассчитывают на срез (условный) по одному из двух сечений – по металлу шва или по металлу границы сплавления.

6. Болтовые соединения

6.1 Классификация болтов.

По классу прочности.

Класс прочности болта зависит от того, из какого материала он изготовлен. Обозначение класса прочности болта сложилось исторически, в нем первая цифра означает временное сопротивление стали, из которой он изготовлен, а произведение первой на вторую предел текучести.

Соответственно, в зависимости от класса прочности используют различные марки стали и технологии термической обработки. Классы прочности обозначаются цифрами. ГОСТ Р ИСО 898-1-2011 предусматривает одиннадцать классов прочности болтов: 3.6; 4.6; 4.8; 5.6; 5.8; 6.6; 6.8; 8.8; 9.8; 10.9; 12.9.

При работе болтов на срез и растяжение классы прочности гаек следует принимать в соответствии с классом прочности болтов: 5 – при 5.6; 8 – при 8.8; 10 – при 10.9; 12 – при 12.9. При работе болтов только на срез допускается применять класс прочности гаек при классе прочности болтов: 4 – при 5.6 и 5.8; 5 – при 8.8; 8 – при 10.9; 10 – при 12.9.

Высокопрочными болтами по ГОСТ Р 52644-2006 считают болты класса прочности не ниже 10.9. В зависимости от климатического района высокопрочные болты выпускают двух типов: обычные и хладостойкие (ХЛ).

Для фрикционных и фланцевых соединений всегда применяют высокопрочные болты, гайки и шайбы.

Для фланцевых соединений следует применять высокопрочные болты климатического исполнения ХЛ.

Несущая способность соединения обеспечивается трением между поверхностями соединяемых элементов, стянутых между собой высокопрочными болтами. Надежность соединения, зависит от степени сжатия соприкасающихся поверхностей, болты затягивают тарировочными ключами, позволяющими контролировать силу натяжения болтов.

В зависимости от того на сколько диаметр болта отличается от диаметра отверстия в пакете соединяемых элементов выделяют три класса точности А, В, С.

Болты класса точности А (болты повышенной точности) следует применять для соединений, в которых отверстия просверлены на проектный диаметр болта в собранных элементах, либо по кондукторам в отдельных элементах и деталях. Отверстия могут быть просверлены или продавлены на меньший диаметр в отдельных местах с последующей рассверловкой до проектного диаметра в собранных элементах. Болты повышенной точности обеспечивают плотное малодеформативное соединение.

Болты класса точности В (болты нормальной точности) по ГОСТ 7798-70 устанавливается в отверстия на 1, 2 или 3 мм больше диаметра бол-

та. Болты класса точности В в многоболтовых соединениях следует применять для конструкций из стали с пределом текучести до 375Н/мм².

Болты класса точности С (болты грубой точности) в [1] не используются.

6.2 Классификация болтовых соединений

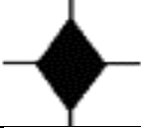
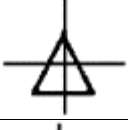
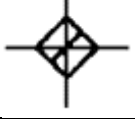
По числу поставленных болтов:

- Однболтовые.
- Многоболтовые.

Условные изображения болтов см. Таблицу 6.1.

Таблица 6.1

Условные изображения болтов на чертежах.

Наименование	Изображение
Болт класса точности В (постоянный)	
Болт временный	
Болт высокопрочный	
Болт самонарезающий	

По характеру передачи усилия в соединении от одного элемента к другому:

- Срезные (несдвигоустойчивые) соединения – сила затяжки гайкой не контролируется и считается, что усилие не передается трением между соединяемыми элементами. В этих соединениях могут использоваться болты различных классов прочности, в том числе и высокопрочные. В расчетах таких соединений учитываются сопротивления растяжению, смятию и срезу без учета сил трения.
- Фрикционные(сдвигоустойчивые) соединения – сдвигающие силы передаются трением между соединяемыми элементами и учитываются при проектировании соединения. Болтовые соединения на высокопрочных болтах с контролируемым натяжением могут быть как фрикционными, так и фрикционно-срезными (часть

усилия передается через трение поверхностей соединяемых элементов, а часть через смятие, как при неконтролируемом натяжении).

В данном руководстве для крепления конструкций в рабочих и конструктивных монтажных соединениях и фланцах используются болты класса точности В. В соединениях, где болты работают преимущественно на растяжение, как правило, следует применять болты классов точности В или высокопрочные. Высокопрочные болты соответствуют классу точности В.

6.3 Конструктивные требования.

Для болтовых соединений элементов стальных конструкций следует применять болты по Таблица 6.2.

Таблица 6.2

Требования к болтам при различных условиях их применения

Расчетная температура t , °C (см.п. 3 «Основные расчетные положения»)	Класс прочности болтов и требования к ним по ГОСТ Р ИСО 898-1-2011 в конструкциях			
	не рассчитываемых на усталость		рассчитываемых на усталость	
	при работе болтов на			
	растяжение или срез	срез	растяжение или срез	срез
≥ -45	5,6	5,6	5,6	5,6
	-	5,8	-	-
	8,8	8,8	8,8	8,8
	10,9	10,9	10,9	10,9
	-	12,9	-	12,9
$-45 > t \geq -55$	5,6	5,6	5,6	5,6
	8,8	8,8	8,8*	8,8
	10,9	10,9	10,9*	10,9
	-	12,9	-	12,9
< -55	5,6	5,6	-	5,6
	8,8*	8,8	8,8*	8,8
	10,9*	10,9	10,9*	10,9
	-	12,9	-	12,9
* С требованием испытания на разрыв на косой шайбе по 6.5 ГОСТ Р ИСО 898-1-2011.				

6.4 Размещение болтов.

Болты в соединениях следует размещать с соблюдением требований Таблица 6.3, при этом в стыках и в узлах на минимальных расстояниях, а соединительные конструктивные болты, которые ставятся без расчетов, как правило, на максимальных расстояниях.

Таблица 6.3

Требования к размещению болтов

Характеристика расстояния и предела текучести соединяемых элементов	Расстояние при размещении болтов
1 Расстояние между центрами отверстий для болтов в любом направлении: а) минимальное: при $R_{yn} \leq 375 \text{ Н/мм}^2$ при $R_{yn} > 375 \text{ Н/мм}^2$ б) максимальное в крайних рядах при отсутствии окаймляющих уголков при растяжении и сжатии в) максимальное в средних рядах, а также в крайних рядах при наличии окаймляющих уголков: при растяжении при сжатии	2,5d 3d 8d или 12t 16d или 24t 12d или 18t
2 Расстояние от центра отверстия для болта до края элемента а) минимальное вдоль усилия: при $R_{yn} \leq 375 \text{ Н/мм}^2$ при $R_{yn} > 375 \text{ Н/мм}^2$ б) то же, поперек усилия: при обрезных кромках при прокатных кромках в) максимальное г) минимальное во фрикционном соединении при любой кромке и любом направлении усилия 3 Расстояние минимальное между центрами отверстий вдоль усилия для болтов, размещаемых в шахматном порядке	2d 2,5d 1,5d 1,2d 4d или 8t 1,3d $u + 1,5d$
<u>Обозначения, принятые в таблице 40:</u> d - диаметр отверстия для болта; t - толщина наиболее тонкого наружного элемента; u - расстояние поперек усилия между рядами отверстий. <u>Примечания</u> 1 Диаметр отверстий следует принимать: для болтов класса точности А $d = d_b$; для болтов класса точности В в конструкциях опор ВЛ, ОРУ и КС $d = d_b + 1 \text{ мм}$, в остальных случаях $d = d_b + (1; 2 \text{ или } 3 \text{ мм})$, где d_b - диаметр болта. 2 Водноболтовых соединениях элементов решетки (раскосов и распорок), кроме постоянно работающих на растяжение, при толщине элементов до 6 мм из стали с пределом текучести до 375 Н/мм² расстояние от края элемента до центра отверстия вдоль усилия допускается принимать 1,35d (без допуска при изготовлении элементов в сторону уменьшения, о чем должно быть указано в проекте). 3 При размещении болтов в шахматном порядке на расстоянии, не менее указанного в поз. 3, сечение элемента A, следует определять с учетом ослабления его отверстиями, расположенными в одном сечении поперек усилия (не по зигзагу).	

При креплении уголка одной полкой болтами, размещаемыми в шахматном порядке, отверстие, наиболее удаленное от его конца, следует размещать на риске, ближайшей к обушке. Допускается крепить элементы одним болтом.

На скошенных поверхностях соединяемых деталей и элементов (внутренние грани двутавров и швеллеров) под головки болтов или гайки следует устанавливать косые шайбы.

Размещение болтов в соединении должно производиться с учетом возможности их постановки и затяжки гаечным ключом. Особенно при постановке болтов в стесненных условиях следует обеспечить габариты для работы гаечным ключом.

Таблица 6.4

Наименьшие габариты гаечного ключа (к Рис. 6.1).

Наименьший размер, мм	Диаметр болта d, мм					
	12	14-16	18-20	22-24	27	30
E	22	25	28	30	35	40
A	23	30	35	40	45	50
B	30	35	40	45	50	55
C	32	38	45	50	58	65
F	10	12	16	18	20	25
D	38	45	55	62	68	75

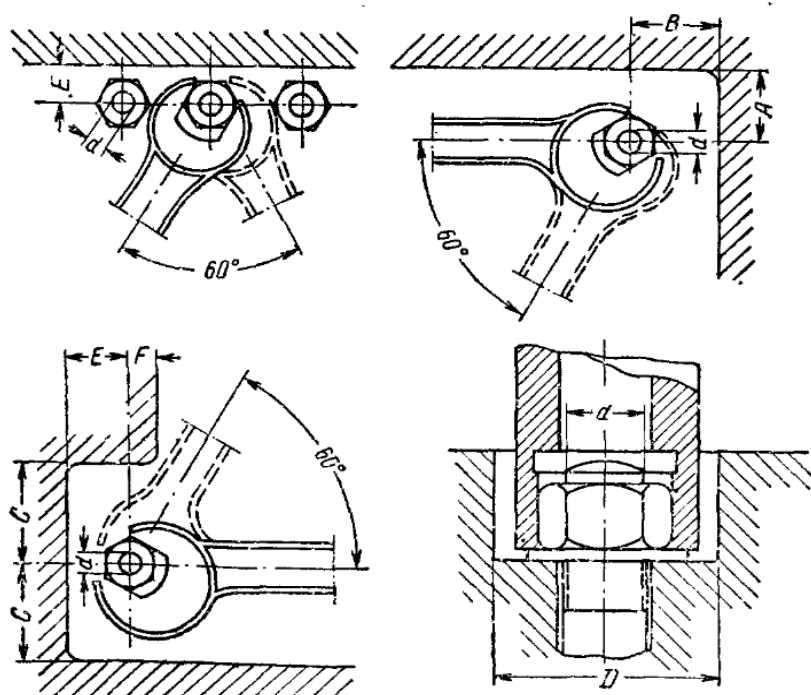


Рис. 6.1 Наименьшие габариты для работы гаечным ключом

Резьба болтов, в том числе сбег резьбы, не должны входить вглубь отверстия более чем наполовину толщины крайнего элемента пакета со стороны гайки.

В расчетных соединениях с болтами следует предусматривать меры по предупреждению самоотвинчивания гаек постановкой пружинных шайб, контргаек или других способов закрепления гаек от самоотвинчивания.

Применение пружинных шайб не допускается при овальных отверстиях, при разности номинальных диаметров отверстия и болта более 3мм,

при совместной установке с круглой шайбой, а также в соединениях на болтах, работающих на растяжение.

6.5 Основы расчета болтовых соединений

В соединениях на срезных болтах с неконтролируемой силой затяжки гайки сила стягивания пакета не определена. Работу такого соединения можно разбить на четыре этапа. На первом этапе, пока силы трения между соединяемыми элементами не преодолены, болты не испытывают сдвигающих усилий и работают только на растяжение, все соединение работает упруго. При увеличении внешней сдвигающей силы внутреннее трение оказывается преодоленным и наступает 2-й этап – сдвиг всего соединения на величину зазора между поверхностями отверстия и стержня болта. На 3-м этапе сдвигающее усилие в основном передается давлением поверхности полуотверстия детали на стержень болта. Стержень болта и края отверстия постепенно обминаются, болт изгибается и растягивается, так как головка и гайка препятствуют свободному изгибу стержня. Постепенно силы трения уменьшаются, и соединение переходит в 4-й этап работы, характеризующийся его упругопластичной работой. Разрушение соединения происходит от среза болта, смятия и выкола одного из соединяемых элементов или отрыва головки болта. Эта работа сильно осложнена неправильностью формы болта и стенки отверстия, поэтому расчет соединения носит условный характер. В многоболтовых соединениях зазоры между болтами и отверстиями неизбежно приводят к неравномерной работе отдельных болтов соединения, что учитывают соответствующими коэффициентами условия работы соединения.

Расчет производится исходя из возможного вида разрушения соединения по срезу болта при толстых соединяемых листах или по смятию поверхности отверстия при тонких листах. Расчет болтового соединения на смятие носит условный характер, так как в местах передачи усилия с болта на соединяемые листы развивается сложнапряженное состояние. Трудность учета сложнапряженного состояния привела к тому, что в расчете принимается равномерное давление болта на стенку отверстия по всему полудиаметру болта. Это несоответствие расчета действительной работе учитывается условным характером расчетных сопротивлений.

При расчете многоболтовых срезных соединений коэффициенты условия работы соединения при работе на срез и смятие учитывает качество обработки поверхности отверстия и расположение отверстий для болтов в соединяемых элементах. Количество болтов при действии сдвигающей силы определяется, предполагая работу всех болтов одинаковой. Расчет самих соединяемых элементов на прочность ведут с учетом ослабления сечения отверстиями по площади нетто.

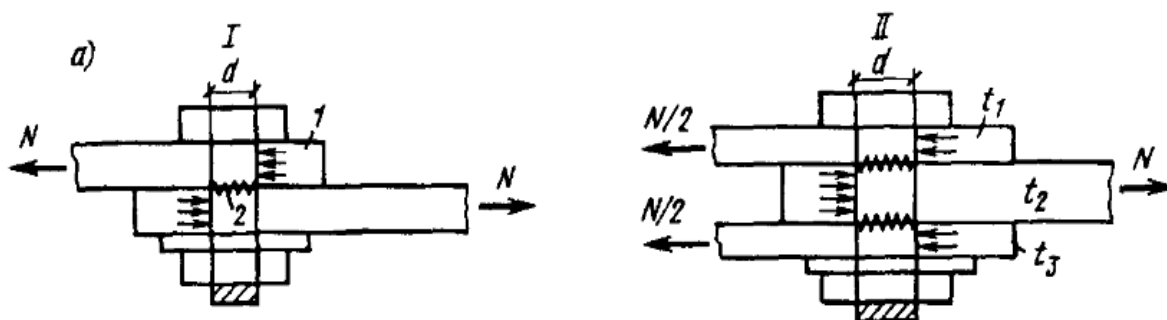


Рис. 6.2 Работа болтов на срез:

I – односрезные соединения; II – двухсрезные соединения

При действии на соединение момента, вызывающего сдвиг соединяемых элементов, распределение усилий на болты принимают пропорционально расстояниям от центра тяжести соединения до рассматриваемого болта.

При одновременном действии на болтовое соединение сдвигающей силы и момента, действующих в одной плоскости, болты следует проверять на равнодействующее усилие.

Если внешняя сила, действующая на соединение, направлена параллельно продольной оси болтов, то они будут работать на растяжение. При статической работе такого соединения качество отверстий и поверхности болта не играют никакой роли, и прочность соединения определяется прочностью материала болтов на растяжение. В соединениях, работающих на растяжение принимаются те же болты, что и для соединений, работающих на сдвиг.

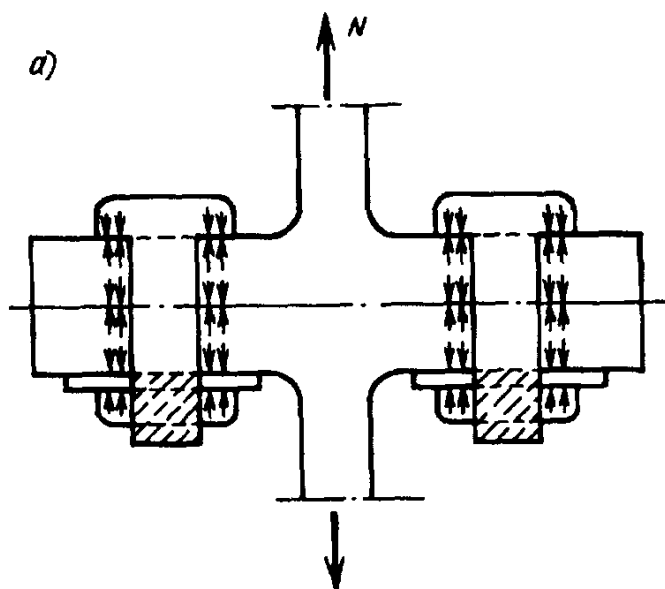


Рис. 6.3 Работа болтов на растяжение.

Различают две конструктивные разновидности соединений – стыки и прикрепления элементов друг к другу.

Стыки листового металла осуществляют двусторонними Рис. 6.4а или односторонними Рис. 6.4б накладками.

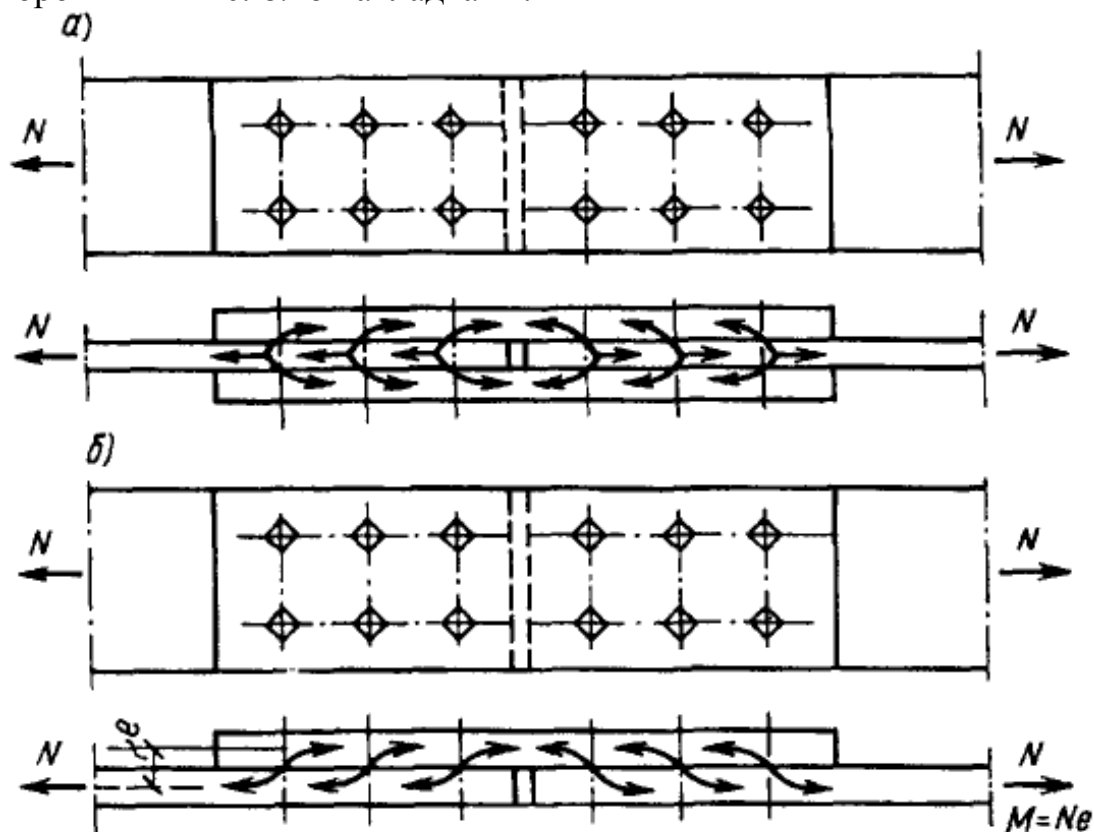


Рис. 6.4 Крепление одного элемента к другому:
а - двусторонними; б - односторонними накладками

Двусторонние накладки, обеспечивающие равномерную передачу усилия, предпочтительнее. Стыки односторонней накладкой дают эксцентричное соединение, в котором силовой поток отклоняется от своего первоначального направления, при этом, возникают изгибающие моменты и необходимое по расчету количество болтов в этом случае увеличивается на 10%.

Стыки профильного металла выполняют накладками: уголки - уголковыми или листовыми, двутавры и швеллеры – листовыми. Благодаря значительной жесткости самого соединяемого профиля эксцентриситет прикрепления накладок слабо сказывается на работе соединения, в связи с чем, число болтов по сравнению с расчетным не увеличивается.

Прикрепление элементов осуществляют внахлестку. Для работы соединения предпочтительнее симметричное прикрепление элементов с двух сторон. При одностороннем прикреплении жесткого элемента к гибкому, например уголка к фасонке появляется эксцентриситет, что требует увеличения числа болтов соединения на 10% против расчетного.

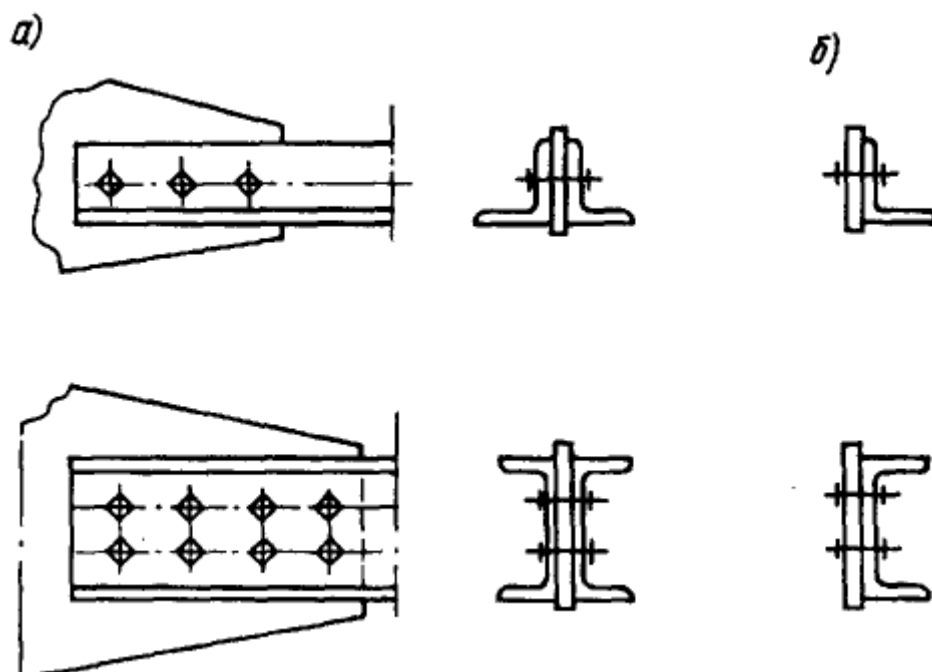


Рис. 6.5 Прикрепление элементов конструкций:
а – симметричное; б – несимметричное

6.6 Фрикционные соединения на высокопрочных болтах

Фрикционные соединения, в которых усилия передаются через трение, возникающее по соприкасающимся поверхностям соединяемых элементов вследствие натяжения высокопрочных болтов, следует применять:

- в конструкциях из стали с пределом текучести свыше 375 Н/мм^2 и непосредственно воспринимающих подвижные, вибрационные и другие динамические нагрузки;
- в многоболтовых соединениях, к которым предъявляются повышенные требования в отношении ограничения деформативности соединений.

Численно величина сил трения прямо пропорциональна значениям коэффициентов трения на контактных поверхностях, усилиям предварительного натяжения высокопрочных болтов и количеству плоскостей трения см. Рис. 6.6.

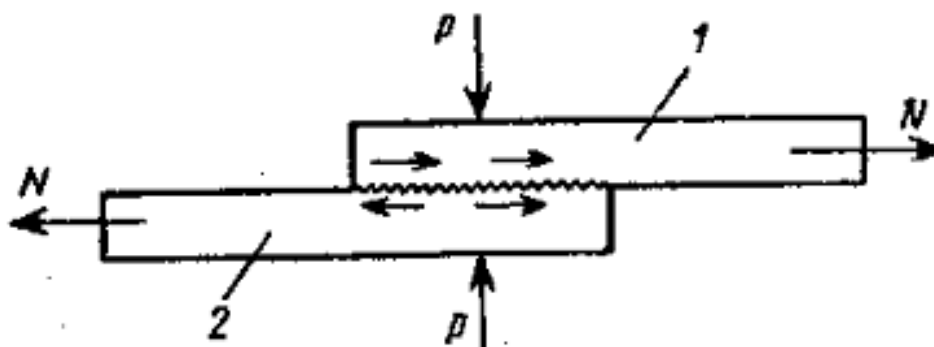


Рис. 6.6 Принципиальная схема фрикционного соединения

Расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых деталей, стянутых одним высокопрочным болтом:

$$N = f \cdot P,$$

где f – коэффициент трения, P – осевое усилие натяжения болта.

Во фрикционных соединениях высокопрочные болты, гайки и шайбы принимать согласно п.4.3.

Технические требования и материал болтов, гаек и шайб принимать по [44].

При сверлении отверстий использовать кондукторы либо другое специализированное оборудование, обеспечивающее выполнение требования по качеству и допускаемым отклонениям в размерах отверстия в соответствии с требованиями по изготовлению конструкции.

Прочность соединений на высокопрочных болтах зависит от сил трения, возникающих по соприкасающимся плоскостям соединения под влиянием натяжения болтов. Соединение будет тем более эффективно, чем выше коэффициенты трения. Повышение коэффициентов трения может быть достигнуто за счет увеличения сил сопротивления деформациям на поверхности контакта, что требует повышения шероховатости поверхностей. Наиболее эффективной является пескоструйная обработка соединяемых поверхностей.

В местах установки высокопрочных болтов контактные поверхности элементов конструкций и накладок не должны грунтоваться и окрашиваться.

Расчетное значение коэффициента трения в зависимости от способа обработки (очистки) контактных поверхностей соединения принимается по таблице 42 [1].

При действии на фрикционное соединение силы, вызывающей сдвиг соединяемых элементов и проходящей через центр тяжести соединения, распределение этой силы между болтами следует принимать равномерным.

При действии на фрикционное соединение момента или силы и момента, вызывающих сдвиг соединяемых элементов, распределение усилий на болты следует принимать пропорционально расстояниям от центра тяжести соединения до рассматриваемого болта.

Диаметр болта во фрикционном соединении следует принимать при условии $\sum t \leq 4d_b$, где $\sum t$ – суммарная толщина соединяемых элементов, сдвигаемых в одном направлении, d_b – диаметр болта. Во фрикционных соединениях с большим количеством болтов их диаметр следует назначать возможно большим.

Контроль натяжение высокопрочных болтов следует осуществлять только по моменту закручивания гайки.

Накладки одинаковой геометрической формы, но отличающиеся по толщине менее чем на 4мм, следует унифицировать и принимать по боль-

шей из них. Не допускается применение накладок одинаковой толщины и геометрической формы из разных сталей.

При перепаде плоскостей соединяемых элементов от 0,5 до 3мм, для обеспечения плавного изгиба наклейки, кромку выступающей детали необходимо сгладить наждачным камнем на расстоянии не менее 30 мм от края. При перепаде более 3мм следует применять прокладки из стали С235 и выше следует обрабатывать на монтаже с двух сторон тем же способом, что и наклейки.

В болтовом соединении на высокопрочных болтах необходимо устанавливать две шайбы - под головку болта и гайку, так как основное назначение шайб заключается в уменьшении трения по торцевой поверхности головки болта или гайки при закручивании. Отсутствие шайб увеличивает сопротивление закручиванию в связи пластическими деформациями стали соединяемых элементов при вращении гайки.

6.7 Фланцевые соединения на высокопрочных болтах.

Фланцевые соединения элементов стальных конструкций, подверженных растяжению, изгибу или их совместному действию, следует выполнять только с предварительным напряжением высокопрочными болтами. Такие соединения могут воспринимать местные поперечные усилия за счет сопротивления сил трения между контактирующими поверхностями фланцев от предварительного натяжения болтов и наличия «рычажных усилий».

Фланцевые соединения элементов стальных конструкций, подверженных сжатию или совместному действию сжатия с изгибом при однозначной эпюре сжимающих напряжений в соединяемых элементах, следует выполнять на высокопрочных болтах без предварительного их натяжения, затяжкой болтов стандартным ручным ключом. Такие соединения могут воспринимать сдвигающие усилия за счет сопротивления сил трения между контактирующими поверхностями фланцев, возникающих от действия усилий сжатия соединяемых элементов.

Высокопрочные болты, гайки и шайбы принимать согласно п. 4.3.

Технические требования и материал болтов, гаек и шайб по ГОСТ Р 52643-2006.

Для фланцев элементов стальных конструкций, подверженных растяжению, изгибу или их совместному действию следует применять листовую сталь по ГОСТ 19903-2015 с гарантированными механическими свойствами в направлении толщины проката по ТУ 14-1-4431-88 классов 3 - 5 марок 09Г2С-15 и 14Г2АФ-15 (по ГОСТ 19281-2014) или по ТУ 14-105-465 марки 14Г2АФ-15.

Фланцы могут быть выполнены из листовой низколегированной стали С345, С375 по ГОСТ 27772-2015, при этом сталь должна удовлетворять следующим требованиям:

- категории качества стали (только для С345 и С375) - 3 или 4 в зависимости от требований к материалу конструкции по [1];
- относительное изменение толщины листа в направлении толщины проката $\Psi_z \geq 15\%$, минимальное для одного из трех образцов $\Psi_z \geq 10\%$.

Проверку механических свойств стали в направлении толщины проката осуществляет завод строительных стальных конструкций по методике, изложенной в [63].

Фланцы сжатых элементов стальных конструкций следует изготавливать из листовой стали по ГОСТ 19903-2015.

Качество стали для фланцев по характеристикам сплошности в зонах шириной 80 мм симметрично вдоль оси симметрии каждого из элементов профиля, присоединяемого к фланцу, должно удовлетворять требованиям, указанным в таблице 1 [63].

Контроль качества стали методами ультразвуковой дефектоскопии осуществляет завод строительных конструкций.

Для фланцевых соединений как правило применяют высокопрочные болты диаметром 24 мм (М24) из стали 40Х «селект» по ГОСТ Р 52644-2006 климатического исполнения ХЛ с временным сопротивлением не менее 1100 МПа (110 кгс/мм²). Использование болтов М20 и М27 следует допускать в тех случаях, когда постановка болтов М24 невозможна или нерациональна.

Фасонки, ужесточающие фланцы (ребра жесткости), следует выполнять из стали тех же марок, что и основные соединяемые профили.

Фланцевые соединения в зависимости от характера внешних воздействий могут состоять из участков, подверженных воздействию растяжения или сжатия. Растянутые участки фланцев передают внешние усилия через предварительно натянутые пакеты «фланец-болт», сжатые – через плотное касание фланцев.

Сварные швы фланца с присоединяемым профилем следует выполнять угловыми.

При конструировании фланцевых соединений, как правило, следует применять следующие сочетания диаметра болтов и толщин фланцев:

Диаметр болта:

- М20
- М24
- М27

Толщина фланца, мм:

- 20
- 25
- 30

Толщина фланца проверяется расчетом.

Болты растянутых участков фланцев разделяют на болты внутренних зон, ограниченных стенками (полками профиля, ребрами жесткости) с двух или более сторон, и болты наружных зон, ограниченных с одной стороны. Характер работы и расчет фланцевых соединений в этих зонах различны.

Болты растянутых участков фланцев следует располагать по возможности равномерно по контуру и как можно ближе к элементам присоединяемого профиля (Рис. 6.7).

Конструктивная схема соединяемых элементов должна обеспечивать возможность свободной установки и натяжения болтов, в том числе выполнение контроля усилий натяжения болтов.

Если несущая способность сварных швов присоединения профиля к фланцу недостаточна для передачи внешних силовых воздействий или необходимо повысить несущую способность растянутых участков фланцевых соединений без увеличения числа болтов или толщины фланцев, последние следует усиливать ребрами жесткости. Толщина ребер жесткости не должна превышать 1,2 толщины элементов основного профиля, длина должна быть не менее 200 мм. Ребра жесткости следует располагать так, чтобы концентрация напряжений в сечении основных профилей была минимальной. Фланцевые соединения элементов двутаврового сечения, подверженных воздействию центрального растяжения, стремятся выполнять, без ребер жесткости.

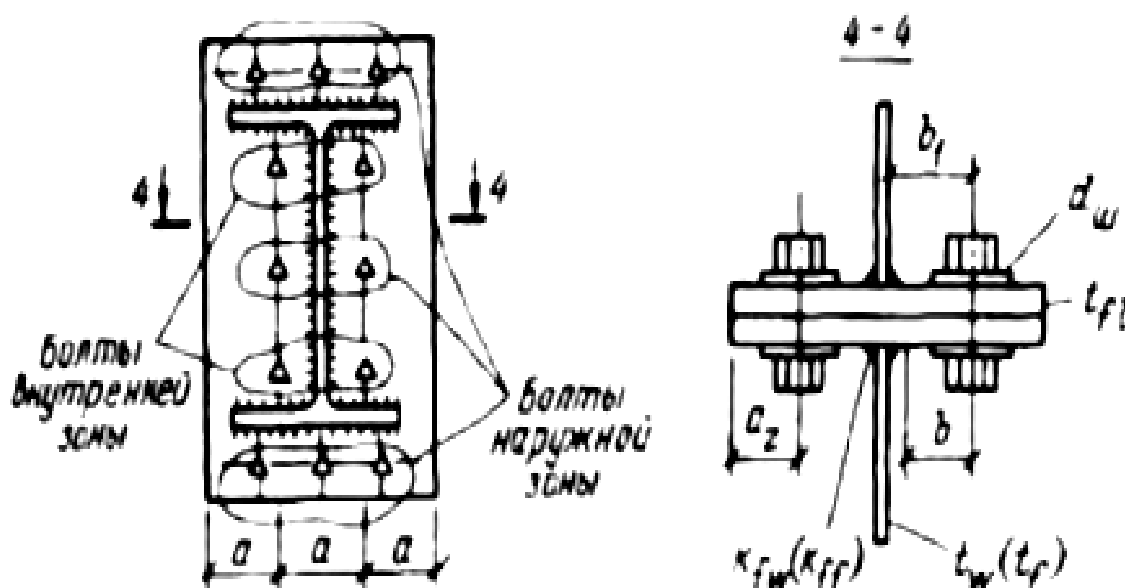


Рис. 6.7 Схема размещения болтов во фланцевом стыке балок

При выполнении фланцевых соединений, подверженных изгибу, следует, как правило, предусматривать следующие меры:

- на растянутых участках фланцевых соединений применять фланцы увеличенной толщины;
- на сжатых участках устанавливать дополнительное количество болтов с предварительным их натяжением.

Фланцевые соединения из круглых труб, подверженных воздействию центрального растяжения, следует выполнять, как правило, со сплошными фланцами и ребрами жесткости в количестве не менее 3 шт. Ширина ребер определяется разностью радиусов фланцев и труб, длина – не менее 1,5 диаметра трубы (см. Рис. 6.8).

Фланцевые соединения элементов из гнутосварных профилей прямоугольного или квадратного сечений, подверженных воздействию центрального растяжения, следует выполнять со сплошными фланцами и ребрами жесткости, расположенными, как правило, вдоль углов профиля (см. Рис. 6.9). Ширина ребер определяется размерами фланца и профиля, длина – не менее 1,5 высоты меньшей стороны профиля.

Фланцевые соединения элементов из прокатных широкополочных или сварных двутавров, подверженных воздействию изгиба, следует выполнять со сплошными фланцами с постановкой ребра жесткости на растянутом поясе в плоскости стенки двутавра. При необходимости увеличения количества болтов и ширины фланцев соответствующее уширение поясов двутавров следует осуществлять за счет приварки дополнительных фасонки (см. Рис. 6.10).

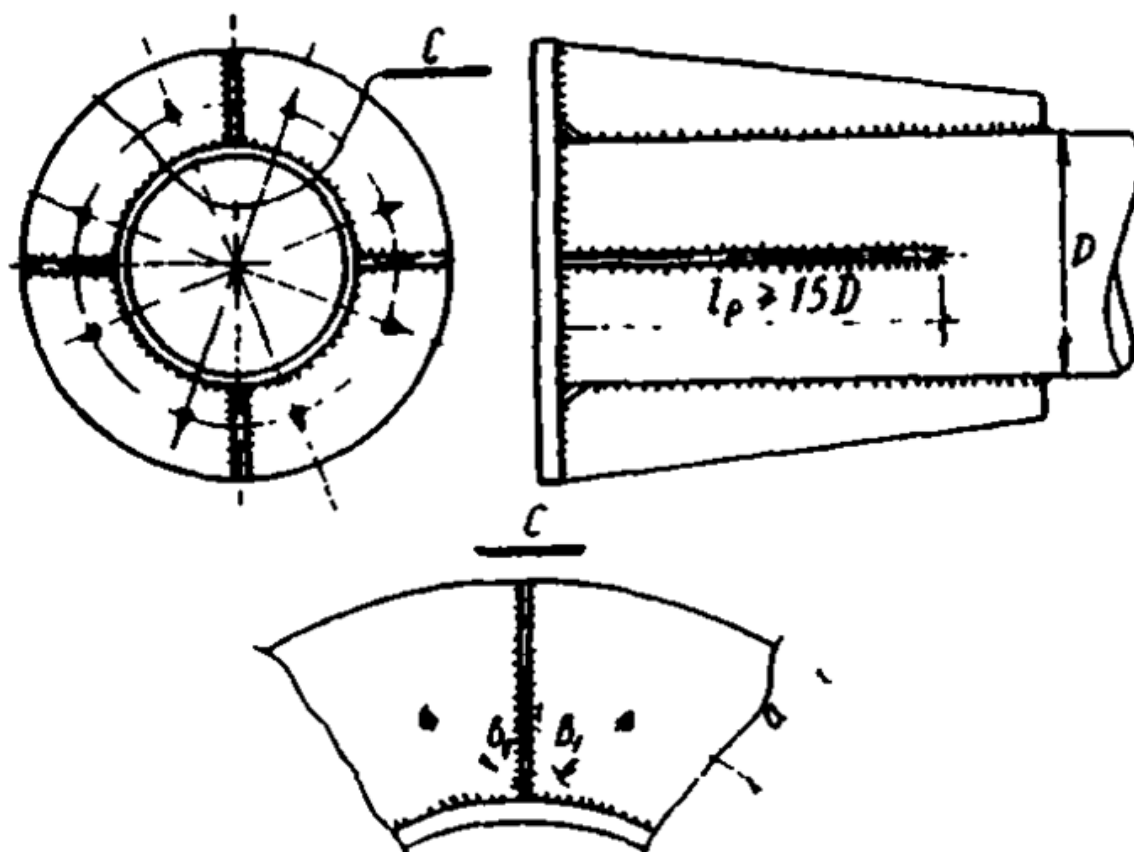


Рис. 6.8 Схемы фланцевых соединений растянутых элементов из круглых труб

При расчете фланцевых соединений в зависимости от конструктивного решения, характера передаваемых усилий и требований эксплуатации следует проверять:

- несущую способность болтового соединения;
- прочность фланцевых листов при изгибе;
- прочность сварных швов, соединяющих фланец с основным элементом.

При расчете болтов учитывается дополнительное усилие от «рычажного» эффекта или контактное усилие, а при расчете фланцев – упругое их защемление под болтом, что снижает изгибающий момент.

Проектирование и расчет прочности фланцевого соединения стержней открытого профиля производится в следующей последовательности: принимаются диаметр болта и толщина фланца; устанавливаются несущая способность болта внутренней зоны и количество болтов; затем определяется ориентировочное количество болтов наружной зоны; после размещения болтов во фланце уточняются его габариты. Затем находят несущую способность соединения и сравнивают ее с действующим усилием в растянутом стержне. Если несущей способности фланцевого соединения недостаточно, увеличивают число болтов наружной, а иногда и внутренней зон за счет постановки ребер, развивают габариты фланца или увеличивают диаметр болтов и толщину фланца (Рис. 6.7).

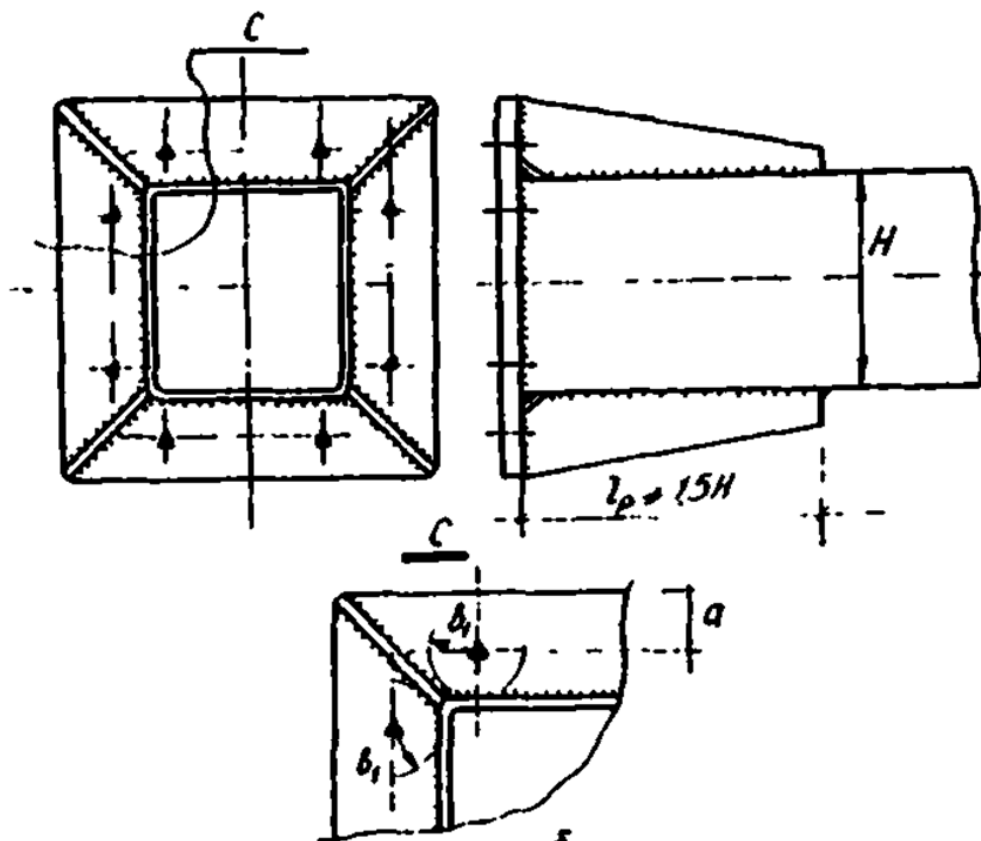


Рис. 6.9 Схемы фланцевых соединений растянутых элементов из гнутосварных профилей

Предельное состояние фланцевого соединения определяют следующие условия:

- усилие в наиболее нагруженном болте, определенное с учетом совместной работы болтов соединения, не должно превышать расчетные усилия растяжения болта;
- изгибные напряжения во фланце не должны превышать расчетных сопротивлений стали фланца по пределу текучести.

Конструкции с фланцевыми соединениями должны проходить предварительную сборку на заводе-изготовителе, в процессе которой проверяется соответствие их чертежам и выполнение требований по допускам.

Сборку элементов конструкций с фланцевыми соединениями следует производить только в кондукторах.

Фланцевые соединения следует сваривать только после проверки правильности их сборки. Сварные швы следует выполнять механизированным способом сварочной проволокой по ГОСТ 2246-70 и проплавлением корня шва не менее 2 мм.

После выполнения сварки внешние поверхности фланцев должны быть отфрезерованы. Толщина фланцев после фрезеровки должна быть не менее указанной в чертежах КМ и КМД.

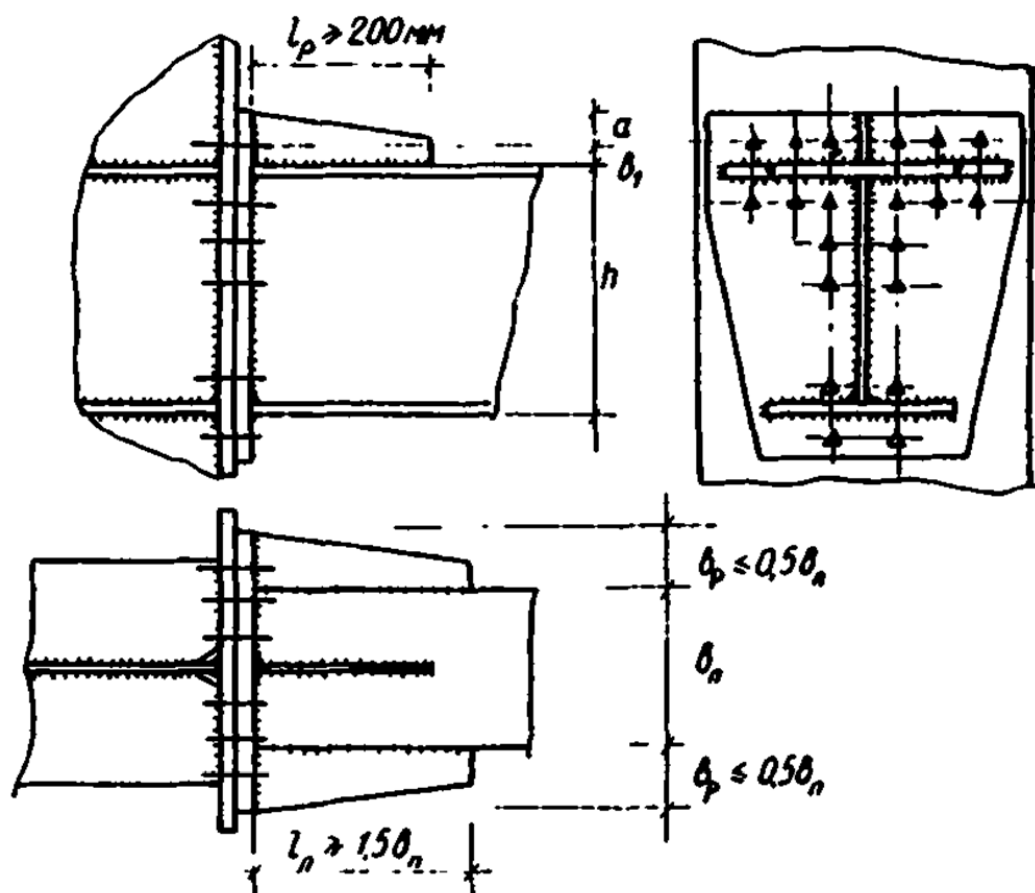


Рис. 6.10 Схемы фланцевых соединений изгибаемых элементов из прокатных или сварных двутавров

Контактные поверхности фланцев на заводе-изготовителе не грунтовать и не окрашивать, на монтаже обрабатывать стальными щетками.

Применение временных болтов в качестве сборочных запрещается.

Под головки и гайки высокопрочных болтов необходимо ставить только по одной шайбе.

Выступающая за пределы гайки часть стержня болта должна иметь не менее одной нитки резьбы.

Натяжение высокопрочных болтов фланцевых соединений следует осуществлять от наиболее жесткой зоны к его краям.

Натяжение высокопрочных болтов фланцевых соединений следует осуществлять только по моменту закручивания.

После натяжения болтов гайки ничем дополнительно не закрепляются.

7. Каркасные здания

При компоновке конструктивной схемы каркаса здания определяется размещение колонн здания в плане, устанавливаются габариты здания, назначаются и взаимосвязываются размеры основных конструктивных элементов каркаса, выбирается вид конструкций, покрытия и перекрытий, определяется, за счет каких элементов (узлов, связей), будет обеспечиваться пространственная жесткость и устойчивость здания.

7.1 Малоэтажные и одноэтажные промышленные здания

7.1.1 Размещение колонн

Размещение колонн в плане принимают с учетом технологических требований, конструктивных и экономических факторов. Оно должно быть увязано с габаритами технологического оборудования, его расположением и направлением грузопотоков. Колонны размещают так, чтобы вместе с ригелями они образовывали поперечные или продольные рамы. В современном проектировании пролет и шаг рам производственных зданий назначают в соответствии с модулем, как правило кратным 0,6м. При проектировании малоэтажных, жилых и общественных зданий также следует стремиться назначить шаг колонн и пролет в соответствии с укрупненным модулем.

7.1.2 Расстояния между температурными швами

При больших размерах здания в плане в элементах каркаса могут возникать большие дополнительные напряжения от изменения температуры. Поэтому в необходимых случаях здание разрезают на отдельные блоки продольными и поперечными температурными швами. Нормами проектирования установлены предельные размеры температурных блоков, при которых влияние климатических температурных воздействий можно не учитывать.

Расстояния между температурными швами стальных каркасов одноэтажных зданий не должны превышать наибольших значений l_u , принимаемых по Таблице 7.1. При превышении значений l_u более чем на 5%, а также при увеличении жесткости каркаса стенами или другими конструкциями в расчете следует учитывать климатические температурные воздействия и неупругие деформации элементов каркаса, а также и податливость узлов.

Наиболее распространенный способ устройства поперечных температурных швов заключается в том, что в месте разрезки здания ставят две поперечные рамы, не связанные между собой. Продольные температурные швы решают расчленением многопролетной рамы на две (или более) с установкой дополнительных колонн.

Таблица 7.1

Расстояния между температурными швами.

Характеристика		Наибольшее расстояние $l_{\text{ш}}$, м, при расчетной температуре воздуха, °С	
здания и сооружения	направления	$t \geq -45$	$t < -45$
Отапливаемое здание	между температурными швами		
	вдоль блока (по длине здания)	230	160
	по ширине блока	150	110
	от температурного шва или торца здания до оси ближайшей вертикальной связи	90	60
Неотапливаемое здание и горячий цех	между температурными швами		
	вдоль блока (по длине здания)	200	140
	по ширине блока	120	90
	от температурного шва или торца здания до оси ближайшей вертикальной связи	75	50
Открытая эстакада	между температурными швами вдоль блока	130	100
	от температурного шва или торца здания до оси ближайшей вертикальной связи	50	40
Примечание - При наличии между температурными швами здания или сооружения двух вертикальных связей расстояние между последними в осях не должно превышать: для зданий 40 - 50 м и для открытых эстакад 25 - 30 м, при этом для зданий и сооружений, возводимых при расчетных температурах $t < -45$ °С, должны приниматься меньшие из указанных расстояний.			

7.1.3 Обеспечение жесткости и пространственной устойчивости каркаса

Жесткость и пространственная устойчивость каркаса здания обеспечивается жесткими связевыми дисками и жесткостью узлов сопряжения элементов каркаса.

Связи необходимы для выполнения следующих требований:

- обеспечение неизменяемости пространственной системы каркаса и устойчивости его сжатых элементов;
- восприятие и передача на фундаменты горизонтальных нагрузок;
- обеспечения совместной работы поперечных рам при локальных воздействиях;
- формирование жесткости каркаса, необходимой для обеспечения нормальных условий эксплуатации;
- обеспечения условий высококачественного и удобного монтажа конструкций.

В каждом температурном блоке здания следует предусматривать самостоятельную систему связей.

Вертикальные связи между основными колоннами следует располагать по возможности в середине или около середины температурного блока. При небольшой длине здания ставится одна вертикальная связь в одной панели (Рис. 7.1а). При большой длине здания вертикальные связи ставятся в двух панелях (Рис. 7.1б).

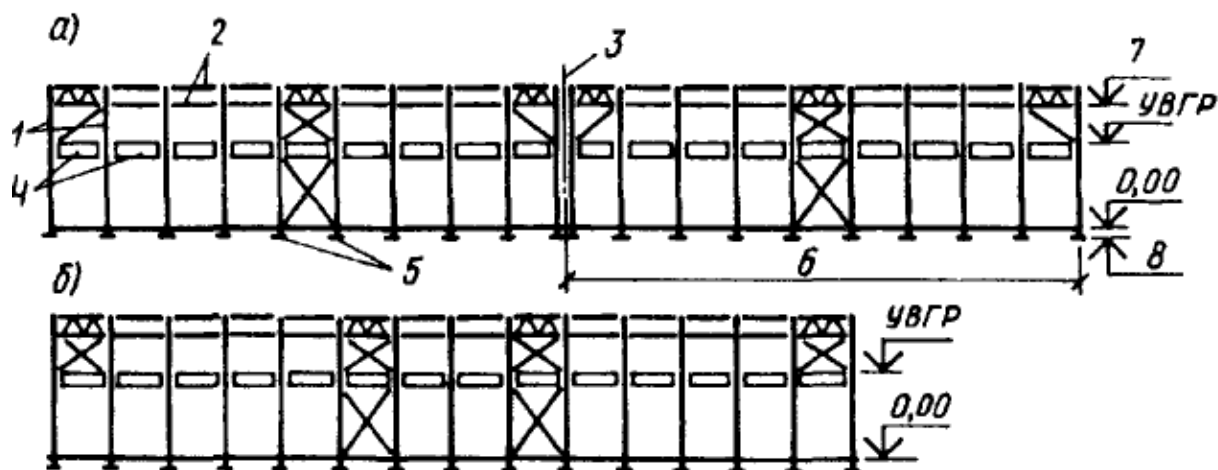


Рис. 7.1 Расположение связей между колоннами в зданиях:

а – коротких; б – длинных;

**1- колонны; 2- горизонтальные связи; 3 - деформационный шов;
4 -подкрановые балки; 5- вертикальные связи; 6 - температурный блок;
7- отметка верха колонны; 8- отметка базы колонны**

Таблица 7.2

Предельные размеры между вертикальными связями

Характеристика здания	От торца блока до оси ближайшей вертикальной связи	Между осями вертикальных связей в одном блоке
Отапливаемое	90 (60)	50 (40)
Неотапливаемое и горячие цеха	75 (50)	50 (40)

Примечание - значения в скобках даны для низких расчетных температур

Решетка связей проектируется крестовой, элементы которой работают на растяжение при любом направлении сил и треугольной, элементы которой работают на растяжение и сжатие. Схема решетки выбирается так, чтобы ее элементы было удобно крепить к колоннам (углы между вертикалью и элементами решетки близки к 45^0). Если есть необходимость в свободном пространстве между средними колоннами возможно устройство порталных связей.

При недостаточной жесткости ветвей колонн в продольном направлении здания допускается установка дополнительных распорок, закрепленных в узлах вертикальных связей между колоннами.

7.1.4 Связи по покрытию

Покрытие здания состоит из кровельных (ограждающих) конструкций, несущих элементов (прогонов, ферм, фонарей), на которые опирается кровля, и связей по покрытию, обеспечивающих пространственную неизменяемость, жесткость и устойчивость всего покрытия и его отдельных элементов.

Система связей покрытия зависит от типа каркаса (стальной или смешанный), типа покрытия (прогонное или беспрогонное), наличия подвесного подъемно-транспортного оборудования и подстропильных ферм.

В уровне нижних поясов стропильных ферм следует предусматривать поперечные горизонтальные связи в каждом пролете здания у торцов, а также у торцов температурных блоков здания. При длине температурного блока более 144 м следует предусматривать также и промежуточные поперечные горизонтальные связи примерно через каждые 60 м.

В зданиях с подстропильными фермами следует предусматривать продольные горизонтальные связи, располагаемые по крайним панелям нижних поясов стропильных ферм и образующие совместно с поперечными связями жесткий контур в плоскости нижних поясов ферм.

В однопролетных зданиях продольные горизонтальные связи по нижним поясам следует назначать вдоль обоих рядов колонн.

В многопролетных зданиях продольные связи, как правило, следует располагать вдоль крайних колонн и через один ряд вдоль средних колонн.

В зданиях с перепадами высоты следует назначать более частое расположение продольных связей по нижним поясам ферм. Продольные связи по средним рядам колонн при одинаковой высоте смежных пролетов следует проектировать такими же, как и вдоль крайних рядов колонн.

В случае если гибкость в горизонтальной плоскости панелей нижних поясов ферм находящихся между двумя поперечными связевыми фермами, недостаточна, то она должна быть обеспечена постановкой распорок, закрепленных за узлы связевых ферм.

В уровне верхних поясов стропильных ферм поперечные горизонтальные связи при покрытии с прогонами следует устанавливать в любом одноэтажном промышленном здании. Поперечные связевые фермы по верхним и нижним поясам рекомендуется совмещать в плане.

Верхние пояса стропильных ферм, не примыкающие непосредственно к поперечным связям, следует раскреплять в плоскости расположения этих связей распорками.

При наличии жесткого диска кровли в уровне верхних поясов в покрытиях без прогонов (в которых крупноразмерные железобетонные плиты

приварены к верхним поясам или профилированный лист покрытия прикреплен в каждой гофре) поперечные связи по верхним поясам ферм следует устраивать только в торцах здания и температурных блоков. В остальных шагах необходимы распорки у конька и у опор стропильных ферм.

При наличии жесткого диска кровли в уровне верхних поясов следует предусматривать инвентарные съемные связи для выверки конструкций и обеспечения их устойчивости в процессе монтажа.

При наличии подстропильных ферм в однопролетных покрытиях без прогонов и многопролетных покрытиях, расположенных в одном уровне, необходимо устройство продольных горизонтальных связей в плоскости верхних поясов ферм в одной из крайних панелей ферм.

При расположении покрытий в разных уровнях необходимо предусмотреть по одной продольной системе связей в каждом уровне.

Вертикальные связи между фермами располагают в местах сопряженных с поперечными горизонтальными связями покрытия.

В покрытиях зданий и сооружений, эксплуатируемых в районах с расчетными температурами ниже минус 45°C, как правило, следует предусматривать (дополнительно к обычно применяемым) вертикальные связи посередине каждого пролета вдоль всего здания.

Вертикальные связи, как правило, следует располагать в плоскостях опорных стоек стропильных ферм, в плоскостях коньковых стоек для ферм пролетом до 30 м, а также в плоскостях стоек, находящихся под узлом крепления наружных ног фонаря для ферм пролетом более 30 м.

Сечения элементов вертикальных связей, как правило, следует назначать по предельной гибкости.

При применении крестовой решетки связей покрытий, за исключением зданий и сооружений I уровня ответственности, допускается расчет по условной схеме в предположении, что раскосы воспринимают только растягивающие усилия.

При определении усилий в элементах связей обжатие поясов ферм допускается не учитывать.

Крепление связей осуществляют на болтах класса точности В.

В случае значительных усилий в элементах связей (ветровые фермы и т.п.) крепление элементов связей следует осуществлять на монтажной сварке, а в отдельных случаях и на болтах класса точности А.

7.2 Многоэтажные здания

К многоэтажным зданиям относят здания высотой более 30м. Они делятся на:

- невысокие – до 50м;
- средней высоты – от 50 до 100м;
- высотные (уникальные здания) – 100м и более.

7.2.1 Планировочные решения

Применяемые планировочные решения должны вписываться в модульную сетку разбивочных осей и высоты этажей. Для общественных зданий рекомендуются следующие сетки колонн: 6х6; 6х9; 6х12; 9х9; 12х12м, допускаются размеры 3,0; 4,5 и 7,5м. Высоту этажей принимают равной 3,3; 3,6; 4,2м и более с модулем 0,3 м.

Форма плана, общая пространственная композиция и высота здания взаимосвязаны, они зависят от градостроительных факторов, природно-климатических условий, а так же технологических, экономических и эксплуатационных возможностей применяемых конструкций.

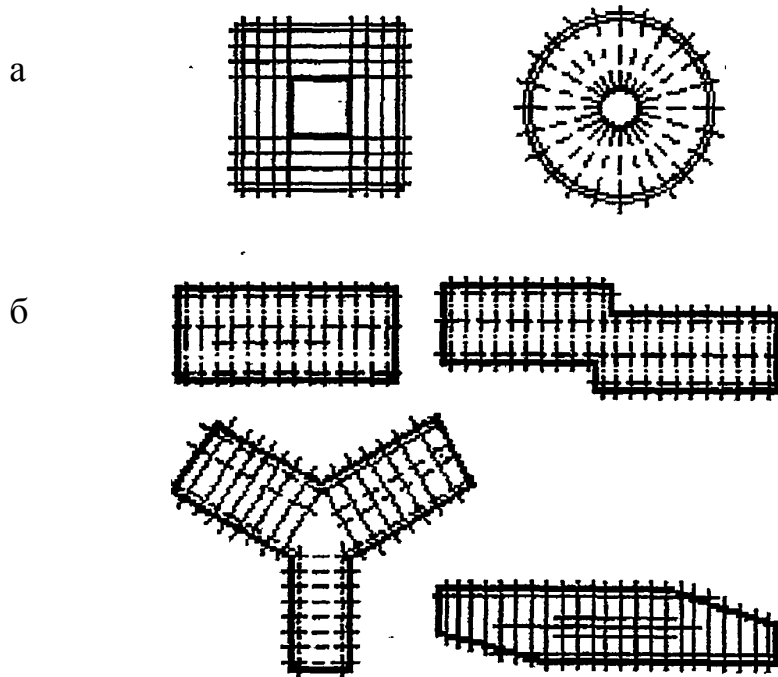


Рис. 7.2 Формы планов многоэтажных зданий.

а - здания с компактным планом; б – здания с протяженными планами

7.2.2 Обеспечение пространственной устойчивости

Любое каркасное здание состоит из отдельных элементов, выполняющих в общей системе определенные функции. В систему высотного каркаса к этим элементам относят вертикальные элементы (колонны, рамы, диафрагмы и стволы жесткости) и горизонтальные элементы (плиты, балки перекрытий и горизонтальные связи). Вертикальные элементы выполняют главные несущие функции, воспринимая все действующие на здание нагрузки с передачей их на фундамент. Горизонтальные элементы обеспечивают неизменяемость системы в плане, передают прилагаемые к ним нагрузки на вертикальные элементы, обеспечивают пространственную работу всей системы, выступая в качестве распределительных горизонтальных дисков.

В зависимости от вида конструктивной схемы высотные здания подразделяются на:

- бескаркасные системы, состоящие из стен-пластин, оболочек открытого или замкнутого профиля, объемных тонкостенных блоков (Рис. 7.3, а,г);
- системы со стволами жесткости (Рис. 7.3, б)
- каркасные системы, состоящие из стержней (Рис. 7.3, и, л, м);
- смешанные системы, состоящие из элементов, присущих как каркасным, так и бескаркасным системам (Рис. 7.3, к, н, р);
- связевые системы, состоящие из вертикальных связей.

Каркасные и смешанные системы в зависимости от распределения функций между элементами каркаса для обеспечения пространственной жесткости и устойчивости подразделяют на рамные, связевые и рамно-связевые.

Рамные системы обычно состоят из прямоугольной сетки горизонтальных балок и вертикальных колонн, соединенных между собой жесткими узлами.

В обычной рамной системе (Рис. 7.4, а) колонны регулярно расположены по всему плану здания с шагом 6 - 9 м. Жесткие рамы при восприятии горизонтальных нагрузок сохраняют свою устойчивость за счет изгиба колонн и балок. Горизонтальные деформации рамного каркаса определяются двумя факторами:

- деформациями от изгиба каркаса как консоли (Рис. 7.5, б), при этом удлинение и укорочение колонн приводит к горизонтальным перемещениям, составляющим около 20% общего прогиба;
- деформациями за счет работы балок и колонн на изгиб (Рис. 7.5, в).

На последний вид деформирования приходится около 80 % общего перемещения здания, из которых 65 % из-за изгиба балок и 15 % из-за изгиба колонн, поэтому подобные системы экономичны в зданиях высотой не более 30 этажей.

Системы с внешней пространственной рамой (см. Рис. 7.5, б) обладают повышенной изгибной жесткостью, так как при расположении колонн по контуру увеличивается момент инерции горизонтального сечения каркаса. Система отличается высокой жесткостью на кручение. Кроме того, при частом расположении колонн конструктивные элементы внешней рамы выполняют функции фахверка наружной стены и для ее устройства не требуются дополнительных элементов.

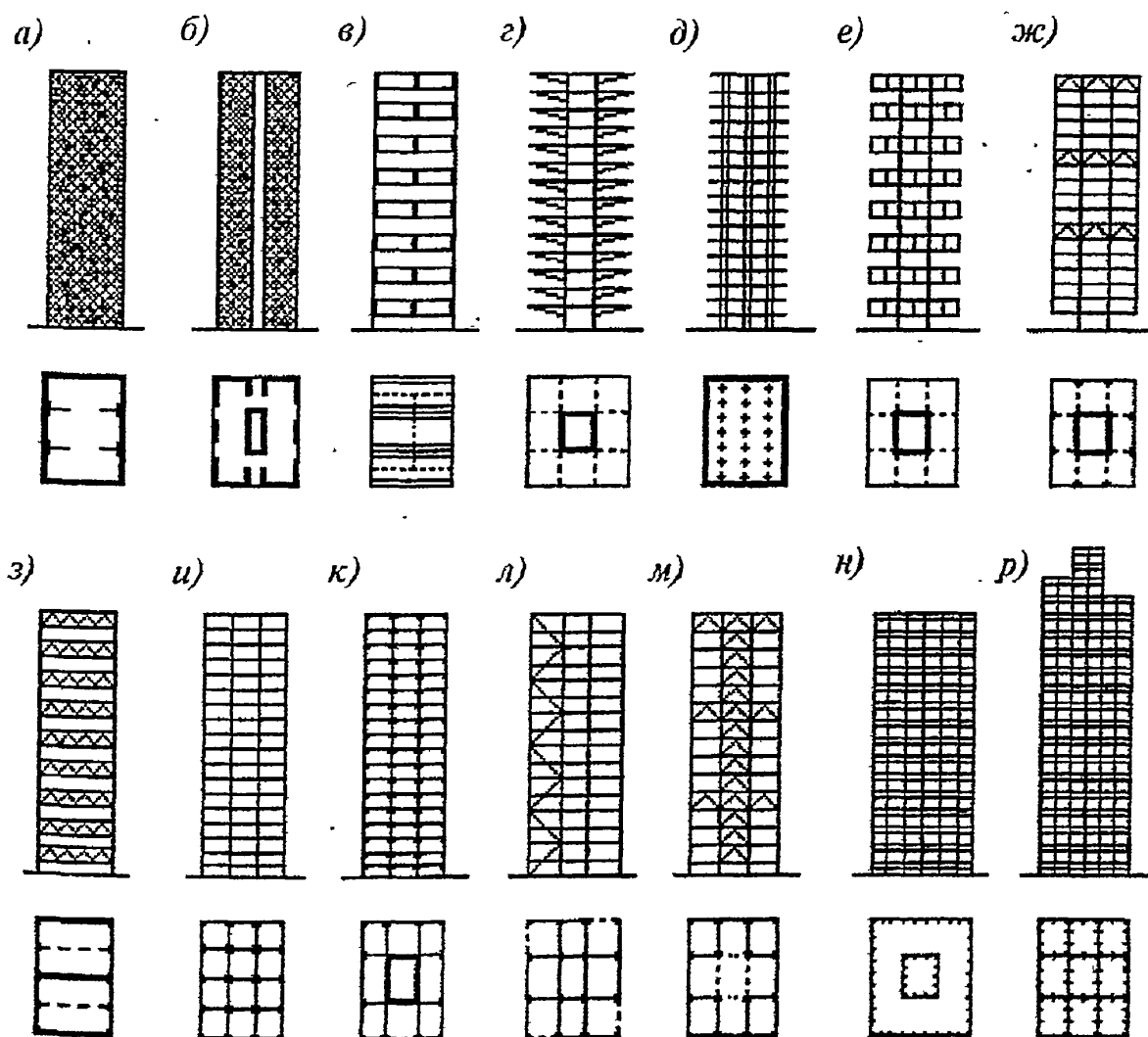


Рис. 7.3 Конструктивные схемы высотных зданий:

а – бескаркасная с параллельными несущими стенами; б – ствольная с несущими стенами; в – коробчатая; г – с консольными перекрытиями в уровне каждого этажа; д – каркасная с безбалочными плитами перекрытия; е – с консолями высотой на этаж в уровне каждого второго этажа; ж – с подвешенными этажами; з – с фермами высотой на этаж, расположенными в шахматном порядке; и – рамно-каркасная; к – каркасно-ствольная; л – каркасная с решетчатыми диафрагмами жесткости; м – каркасная с решетчатыми горизонтальными поясами и решетчатым стволом; н – коробчато-ствольная (труба в трубе); п – многосекционная коробчатая

При большой ширине здания система может быть дополнена внутренними колоннами, воспринимающими только вертикальные нагрузки от шарнирно примыкающих ригелей перекрытий.

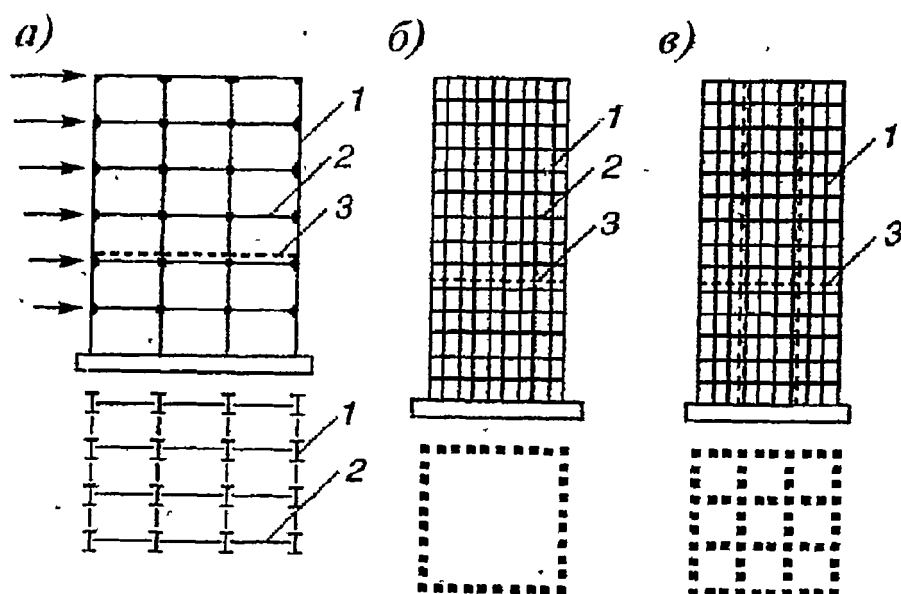


Рис. 7.4 Схемы основных рамных систем:

а – обычная; б – с внешней пространственной рамой; в- рамно-секционная; 1 – колонна; 2 – ригель; 3 – плоскость одного из перекрытий.

Дальнейшим развитием рамных систем является рамно-секционная система (см. Рис. 7.4, в). Благодаря дополнительной жесткости внутренних рам и более равномерному включению граней внешней рамы в работу на изгиб, общая жесткость этой системы по сравнению с предыдущей повышается. Рамно-секционная система позволяет завершать различные секции на разной высоте без существенного усложнения конструкций, придавая зданию ступенчатый объем. Ригели перекрытий в пределах отдельных секций обычно опирают на колонны шарнирно.

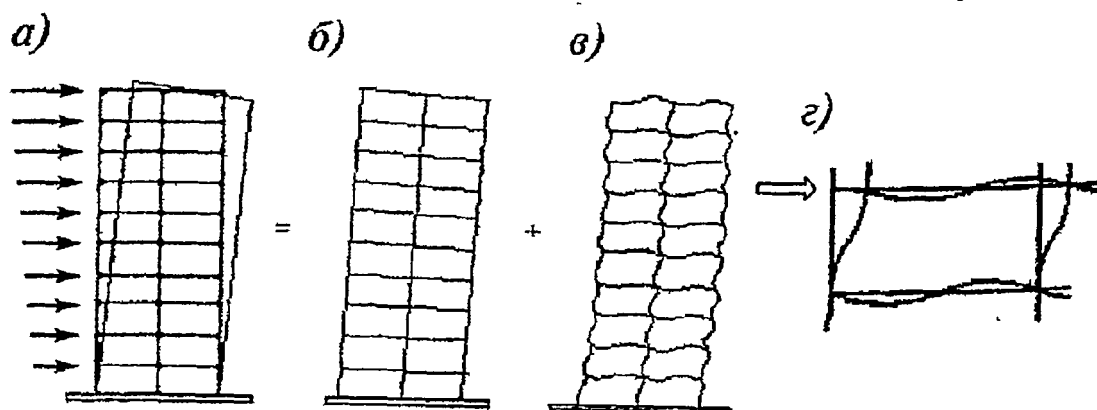


Рис. 7.5 Схемы деформирования каркаса с рамными узлами при действии горизонтальной нагрузки:

а - общая схема деформаций; б - прогиб консоли; в - прогиб за счет работы колонн и балок; г - схема деформации ячейки жесткой рамы

В связевых системах (Рис. 7.6) горизонтальная жесткость обеспечивается за счет работы диагональных элементов и колонн при шарнирном при-

мыкании ригелей. Связевая система работает на горизонтальные нагрузки как консоль, защемленная в фундаменте, нагрузки на которую передаются посредством жестких дисков перекрытий.

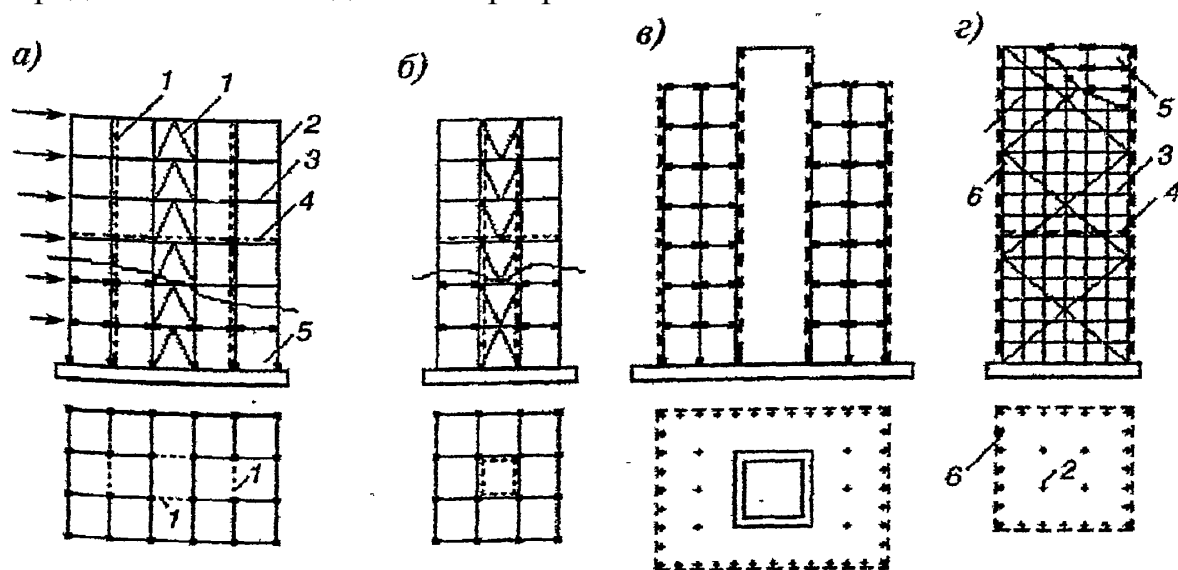


Рис. 7.6 Схемы основных связевых систем:

а – с диафрагмами жесткости; б - внутренним решетчатым стволом; в—с внутренним железобетонным стволом; г—с внешним стволом; 1 - диафрагмы; 2 - колонны; 3 - ригели; 4 – внутренний железобетонный ствол; 5 – внешний ствол; 6 – наружные диафрагмы

Связевая конструкция может быть решена в виде плоских диафрагм (Рис. 7.6, а) или в виде пространственных стволов жесткости (Рис. 7.6, б, в, г), которые могут располагаться как внутри здания (Рис. 7.6, так и снаружи, образуя внешний ствол (Рис. 7.6, г). Внутренний ствол жесткости может быть решен в виде стальной пространственной решетчатой системы или в виде замкнутой железобетонной конструкции. Такой ствол целесообразно совмещать с лифтовыми или коммуникационными шахтами.

Связевая система отвечает принципу концентрации материала и позволяет проектировать большинство элементов каркаса и их сопряжения более легкими, простой конструктивной формы и в максимальной степени типизировать. По расходу стали связевые системы более эффективны, чем рамные, так как большая часть колонн освобождена от воздействия моментов.

Рамно-связевые системы (Рис. 7.7) имеют вертикальные, связи, воспринимающие горизонтальные нагрузки совместно с рамами, расположенными в одной или разных плоскостях со связями. Определение рамно-связевых систем отличается по сравнению с одноэтажными зданиями. Функции обеспечения жесткости распределены в системе между связевой и рамной частями не одинаково, а в большинстве случаев связевая часть воспринимает 70...90 % горизонтальных нагрузок.

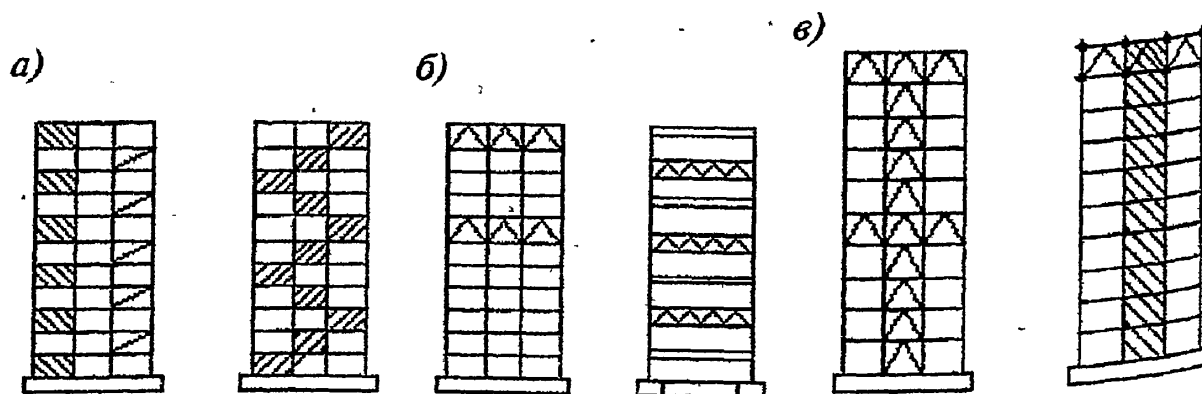


Рис. 7.7 Схемы рамно-связевых систем:

а - рамно-связевые системы с жесткими включениями; б - то же, с поясами жесткости; в - с поясами жесткости и жесткими включениями

При проектировании каркасов многоэтажных зданий не всегда сохраняется регулярность системы и единый принцип ее построения. Это вызвано, как правило, нерегулярностью в объемно-планировочных решениях этажей, что требует смещения осей колонн и ригелей как в плане, так и по высоте. На Рис. 7.8 показаны примеры сочетания различных схем по высоте здания. В схемах (Рис. 7.8, а, б) в верхней части каркаса использована менее жесткая рамная система, а в схеме (Рис. 7.8, в) использована идея концентрации усилий от горизонтальных нагрузок в меньшем числе узлов и с более конструктивно простым примыканием ригелей в остальных узлах. Но для обеспечения горизонтальной жесткости каркаса по схеме в верхнем этаже поставлена вертикальная связь (аутригер), которая способствует более полному включению в работу на горизонтальные нагрузки вертикальных элементов каркаса.

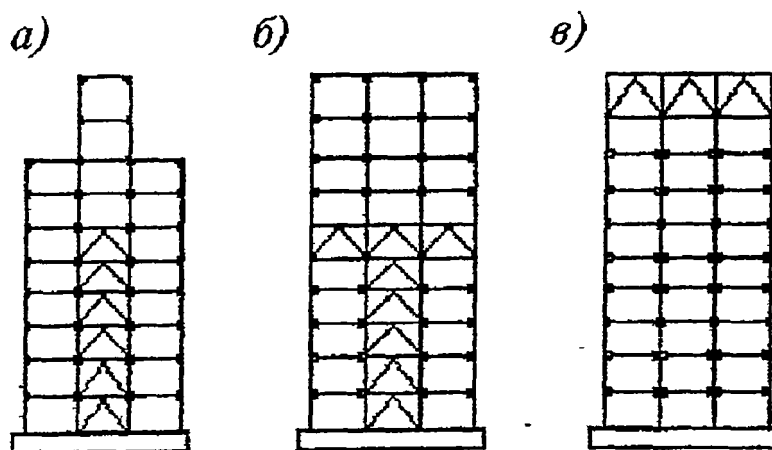


Рис. 7.8 Примеры сочетаний различных систем по высоте каркаса:

а - рамно-связевая с центральным блоком; б - рамно-связевая на половину высоты; в- рамная со связями на верхнем этаже

Стволы жесткости, которые являются составной частью связевых систем, могут быть использованы для создания каркасов с консольными и подвесными этажами (см. Рис. 7.9). Конструктивно стволы жесткости можно выполнять из стали, железобетона или из их комбинаций.

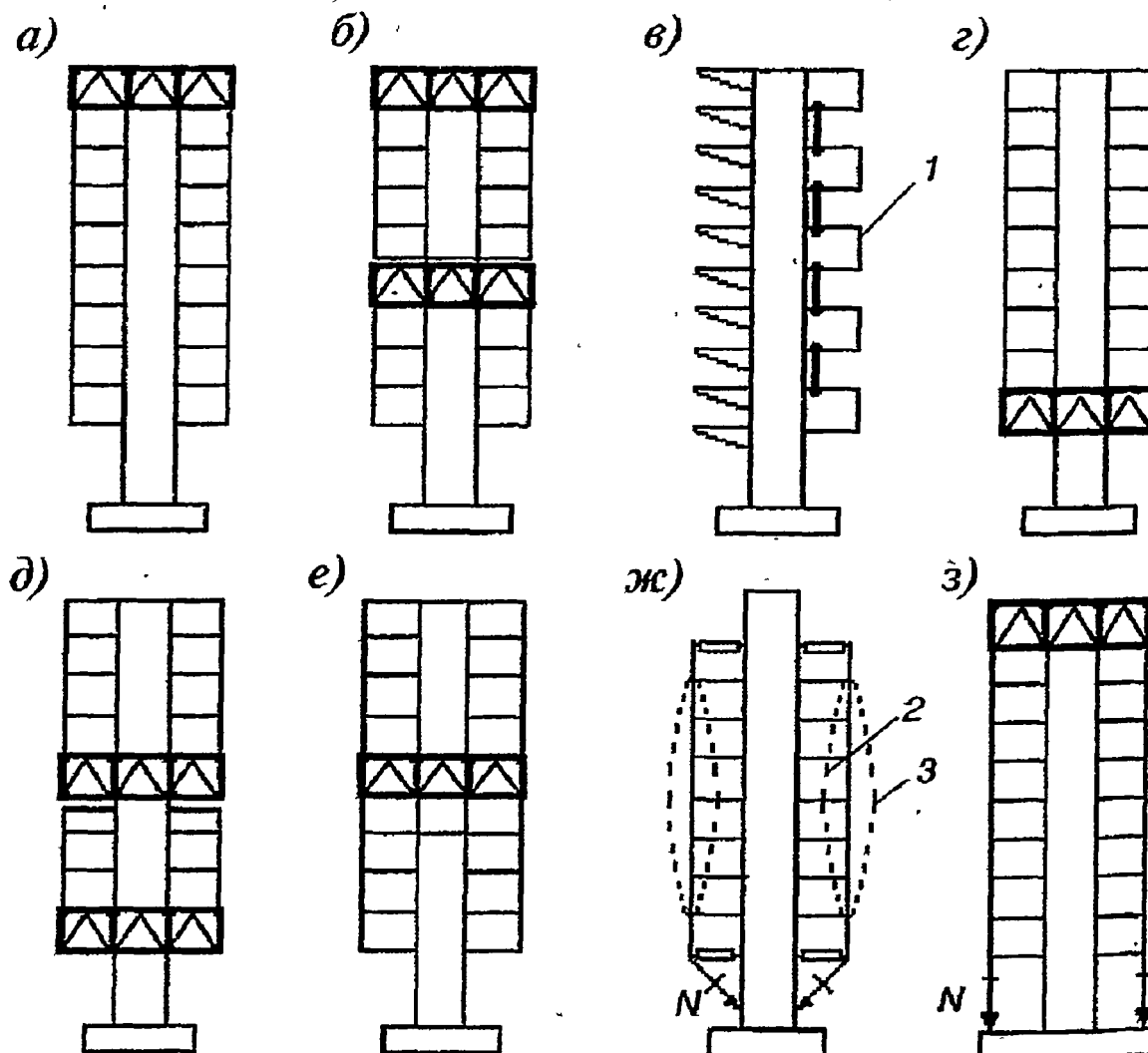


Рис. 7.9 Схемы систем со стволами жесткости:

а, б - с подвесными этажами; в, д - с консольными этажами; е, з - комбинированные систем; ж, з – с предварительно напряженными подвесками; 1- аутригер; 2,3 - вариант проводки вант

Преимущество стальных стволов заключается в возможности сравнительно быстрого монтажа элементов. Стволы можно рассматривать как замкнутый тонкостенный консольный брус, заземленный в основании и воспринимающий горизонтальные и вертикальные нагрузки. Это зависит от его формы, степени однородности и жесткости, а также от направления действия нагрузок. Так как в уровне каждого этажа в стенках ствола жесткости предусматривают проемы, то степень изменения жесткости характеризует схему деформирования системы в целом. Ствол может работать как открытое сечение и испытывать депланацию сечения в верхней части, где отсут-

ствует заделка, особенно при асимметричной нагрузке, вызывающей закручивание.

Области применения различных систем. Каждая из конструктивных схем экономически целесообразна для зданий определенной высоты. На Рис. 7.10 приведены данные, характеризующие области целесообразного применения разных конструктивных схем.

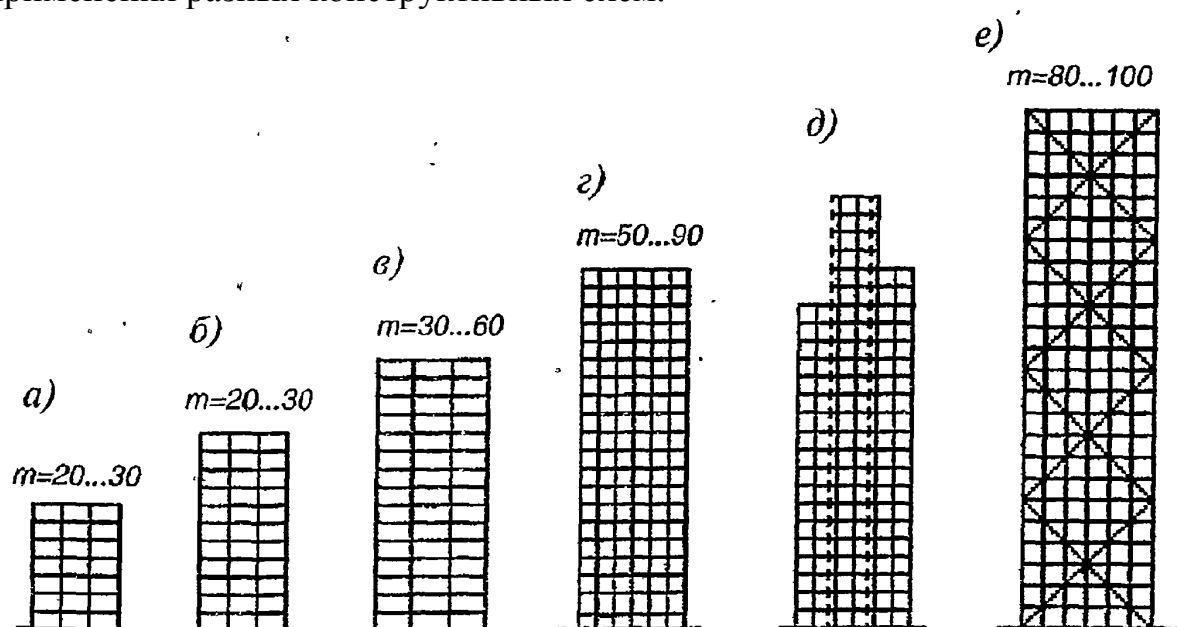


Рис. 7.10 Области применения разных конструктивных систем:
а - рамная система; б - связевая или рамно-связевая с диафрагмами жесткости или внутренним стилом; в - связевая или рамно-связевая с аутригерами; г - рамная система с внешней пространственной рамой; д - секционно-рамная система; е - связевая система с внешним стилом в виде пространственной фермы

8. Колонны

Колонны предназначены для передачи нагрузки от балочных клеток, ферм покрытий, рабочих площадок и других конструкций зданий и сооружений на нижележащие конструкции или на фундаменты и состоят из оголовка, стержня и базы.

В зависимости от схемы нагружения колонны делятся на центрально-сжатые и внецентренно-сжатые.

По типу сечений колонны различают постоянного по высоте сечения, переменного по высоте сечения и раздельного типа (Рис. 8.1).

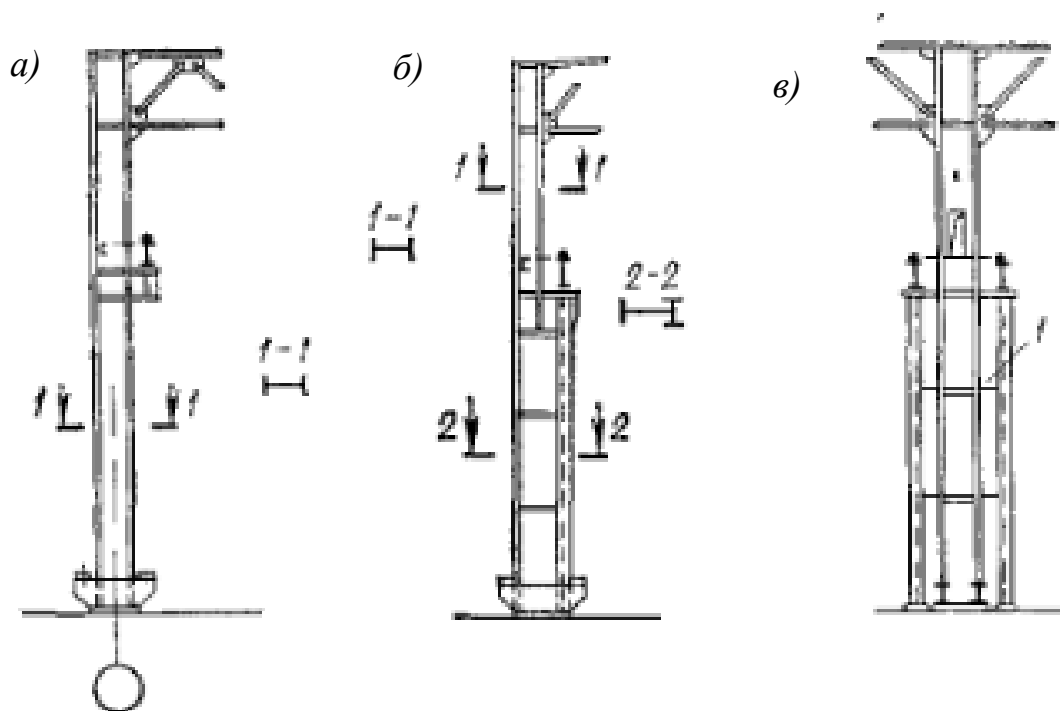


Рис. 8.1 Типы колонн

а – постоянного сечения; б – переменного сечения; в – раздельного типа

8.1 Центрально-сжатые колонны

Равнодействующая сила приложена по оси колонны и вызывает центральное сжатие расчетного поперечного сечения, горизонтальные усилия воспринимаются системой вертикальных связей.

8.1.1 Колонны постоянного сечения

Колонны постоянного сечения используются в зданиях бескрановых, с подвесным транспортом и с мостовыми электрическими кранами общего назначения грузоподъемностью $Q \leq 20$ т.

Общая длина колонны постоянного сечения складывается из высоты здания H_0 , величины заглубления базы и высоты опорной части фермы (при жестком сопряжении ригеля с фермой). Высота здания H_0 от уровня пола до низа стропильной фермы состоит из отметки головки подкранового рельса и габарита мостового крана. Габарит мостового крана принимают кратным

200 мм, включает в себя высоту крана, безопасный зазор 100 мм между краем и стропильными конструкциями. Размер H_0 назначается кратным 1,2 м до высоты 10,8 м и кратным 1,8 – при большей высоте.

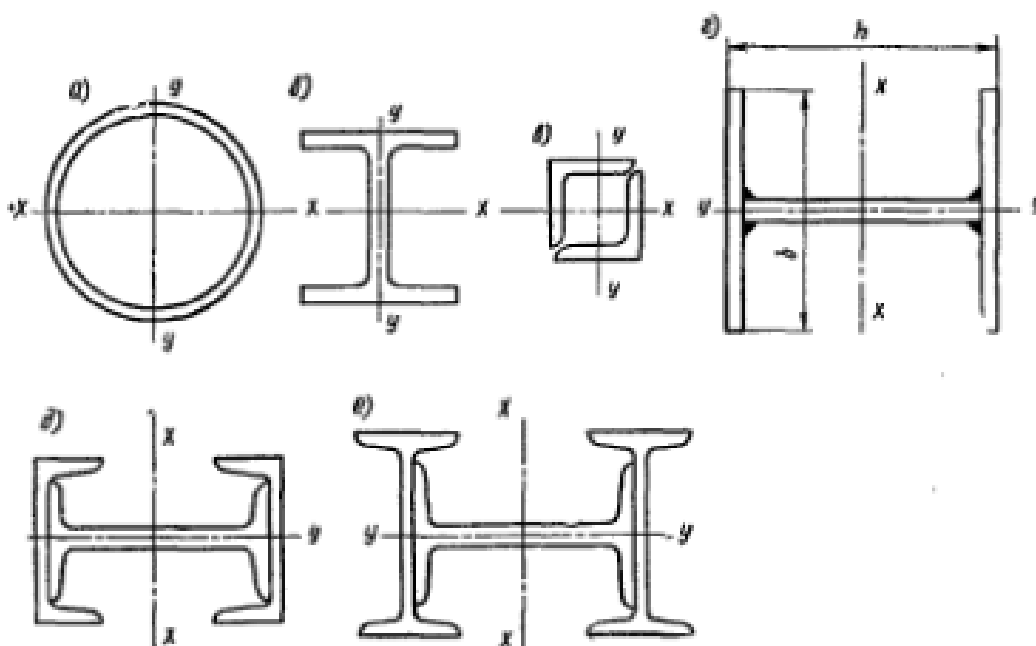


Рис. 8.2 Типы сечений сплошных колонн

Высота сечения колонны по условию жесткости должна быть не менее $1/20$ высоты здания H_0 .

8.1.2 Колонны переменного сечения

Высоту поперечного сечения верхней части ступенчатых колонн из условия жесткости предварительно принимают не менее $1/12$ ее длины от верха уступа до низа стропильной фермы. Высоту сечения нижней части колонны из условия жесткости в поперечном направлении назначают не менее $1/20H$, с интенсивной работой крана (7К-8К) – не менее $1/15H$, где H – расстояние от верха фундамента до низа стропильной фермы.

В сквозных колоннах с соединительной решеткой в одной плоскости диафрагмы следует располагать не реже чем через 4 м.

В сквозных колоннах, ветви которых соединены планками, следует принимать:

- ширину b_s промежуточных планок – равной от $0,5b$ до $0,75b$, где b – габаритная ширина колонны в плоскости планок;
- ширину концевых планок – равной от $1,3 b_s$ до $1,7 b_s$.

Планки и решетки сквозной колонны обеспечивают совместную работу всех ветвей и значительно увеличивают жесткость стержня колонны в целом. При конструировании сквозных колонн с решетками (Рис. 8.3, а, б) гибкость отдельных ветвей между узлами принимают не более 80 и не более

значения $\overline{\lambda_{ef}}$ стержня в целом. В составных стержнях с планками (Рис. 8.3, в) гибкость отдельных ветвей на участке между планками не должна быть более 40. Уголки и планки решетки заводят на ветви колонны из условия размещения сварных швов, которыми их крепят к полкам прокатных профилей. Для планок эта величина принимается не менее 20-30 мм.

8.1.3 Сквозные колонны

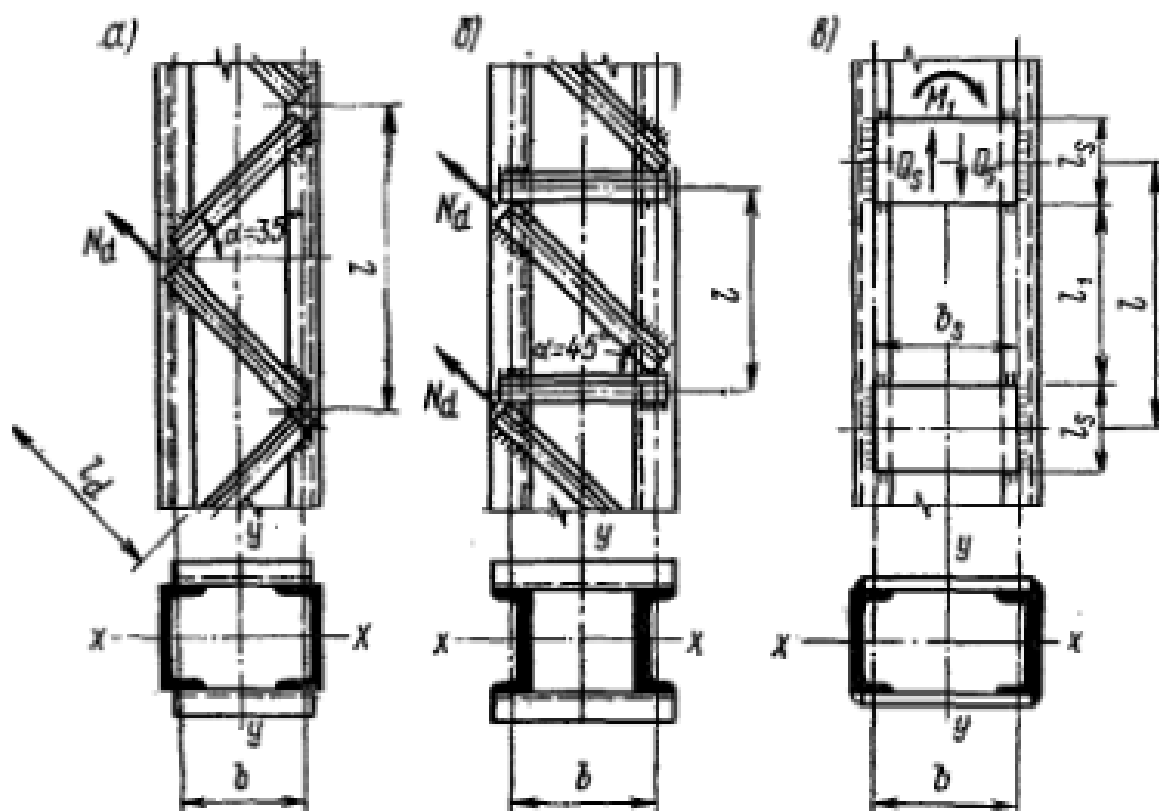


Рис. 8.3 Типы решеток сквозных колонн
а – треугольная; б – раскосная; в – с планками

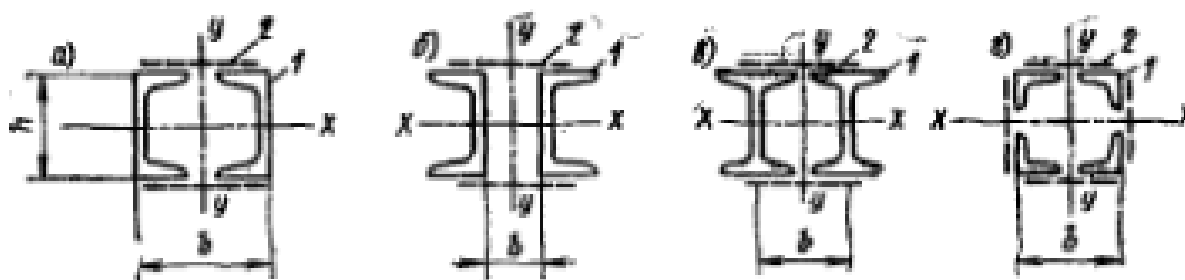


Рис. 8.4 Типы сечений сквозных колонн

В конструкциях, возводимых в районах с расчетными температурами ниже минус 45°C, а также при применении ручной дуговой сварки угловые сварные швы должны быть непрерывными по всей длине фасонки.

В колоннах и стойках с односторонними поясными швами в узлах крепления связей, балок, распорок и других элементов в зоне передачи усилия следует применять двусторонние поясные швы, выходящие за контуры прикрепляемого элемента (узла) на длину $30 k_f$ с каждой стороны.

Монтажные стыки колонн следует выполнять с фрезерованными торцами, сваренными встык, на накладках со сварными швами или болтовыми соединениями, в том числе фрикционными. При приварке накладок сварные швы не следует доводить до стыка на 25 мм с каждой стороны.

8.1.4 Внецентренно-сжатые колонны

Внецентренно-сжатая колонна – колонна в расчетном сечении которой действуют продольная сила и изгибающий момент.

В зависимости от конструктивного решения стержня различают три типа внецентренно-сжатых колонн: постоянного по высоте сечения (Рис. 8.5, а), переменного по высоте сечения (Рис. 8.5, б, в), раздельного типа (Рис. 8.5, г).

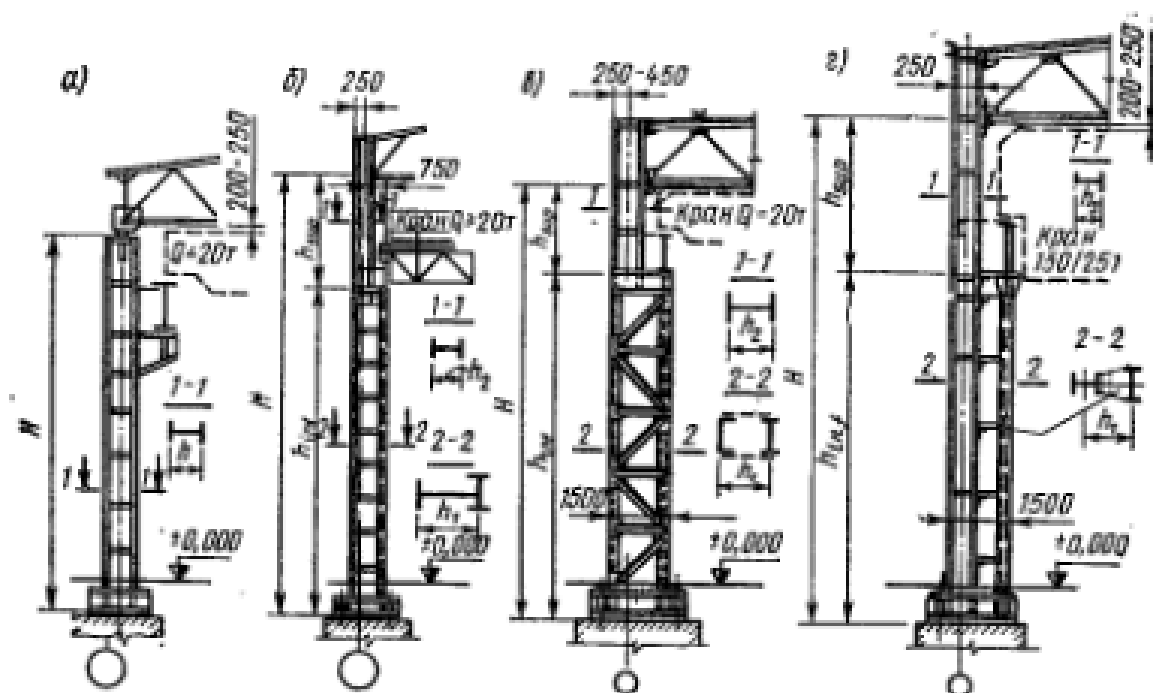


Рис. 8.5 Типы внецентренно-сжатых колонн:

а - колонна постоянного сечения с консолью; б - колонна переменного сечения на планках; в - колонна переменного сечения с раскосами в подкрановой части; г – колонна раздельного типа

При проектировании внецентренно-сжатых колонн их габариты назначают предварительно по конструктивным соображениям. Приблизительно высоту сечения колонн различного типа можно задать согласно [61] см. Таблицу 8.1.

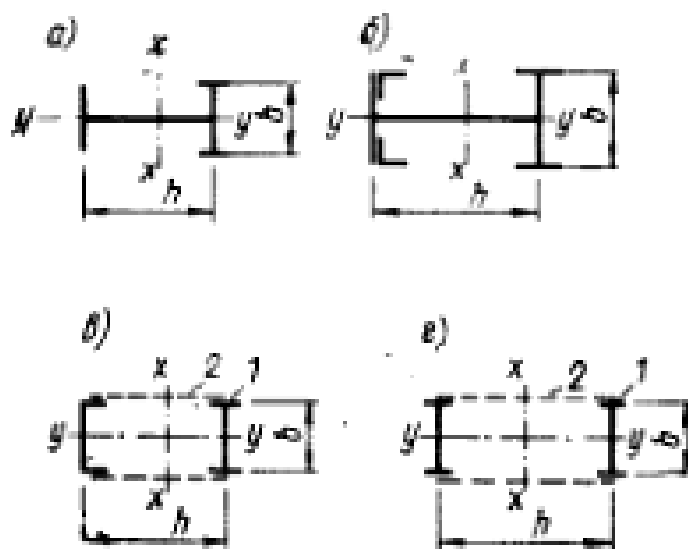


Рис. 8.6

Типы сечений подкрановой части ступенчатых колонн

*а – составное сплошное сечение с использованием прокатного двутавра;
б – составное сплошное сечение с использованием уголков; в – сквозное сечение со швеллером и двутавром; г – сквозное сечение из двух двутавров*

Таблица 8.1

Габариты сечения колонн в зависимости от высоты

l, м	Колонны постоянного сечения h/l	Колонны переменного сечения и раздельного типа		
		В подкрановой части		В надкрановой части
		сплошные	сквозные	
До 10-12	1/15	1/10-1/14	1/9-1/12	1/8-1/12
15-20	1/18	1/12-1/16	1/11-1/14	
25-30	1/20	1/15-1/20	1/13-1/17	

8.1.5 Расчетные длины колонн (стоек)

Расчетные длины колонн (стоек) l_{ef} постоянного сечения или отдельных участков ступенчатых колонн определяют по формуле (140) [1]. Расчетные длины колонн в направлении вдоль здания (из плоскости рамы) следует принимать равными расстояниям между закрепленными от смещения из плоскости рамы точками (опорами колонн, подкрановых балок, подстропильных ферм).

Предельные гибкости элементов принимать по табл.32 [1].

8.2 Детали и узлы колонн

8.2.1 Базы колонн

База является опорной частью колонны и служит для передачи усилий с колонны на фундамент. Конструктивное решение базы зависит от типа и

высоты сечения колонны, способа ее сопряжения с фундаментом, принятого метода монтажа колонн. В зависимости от типа и высоты сечения колонны базы делятся на общие и отдельные, которые в свою очередь могут быть без траверс, с общими или отдельными траверсами одностенчатыми либо двухстенчатыми (Рис. 8.7)

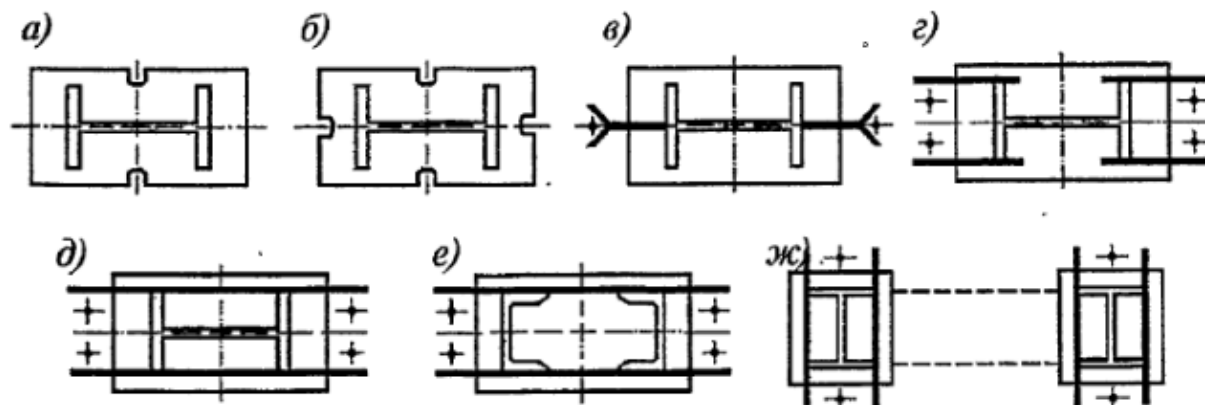


Рис. 8.7 Базы колонн

а, б – базы без траверс; в – база с одностенчатой траверсой; г – база с двухстенчатой отдельной траверсой; д, е – базы с двухстенчатыми общими траверсами; а...е – общие базы, ж – отдельная база

С помощью базы осуществляется жесткое и шарнирное сопряжение колонны с фундаментом.

8.2.2 Жесткое сопряжение колонны с фундаментом

При жестком сопряжении предусматривают соответствующую заделку в бетоне фундамента анкерных болтов, устраиваемых в плоскости действия момента (Рис. 8.8).

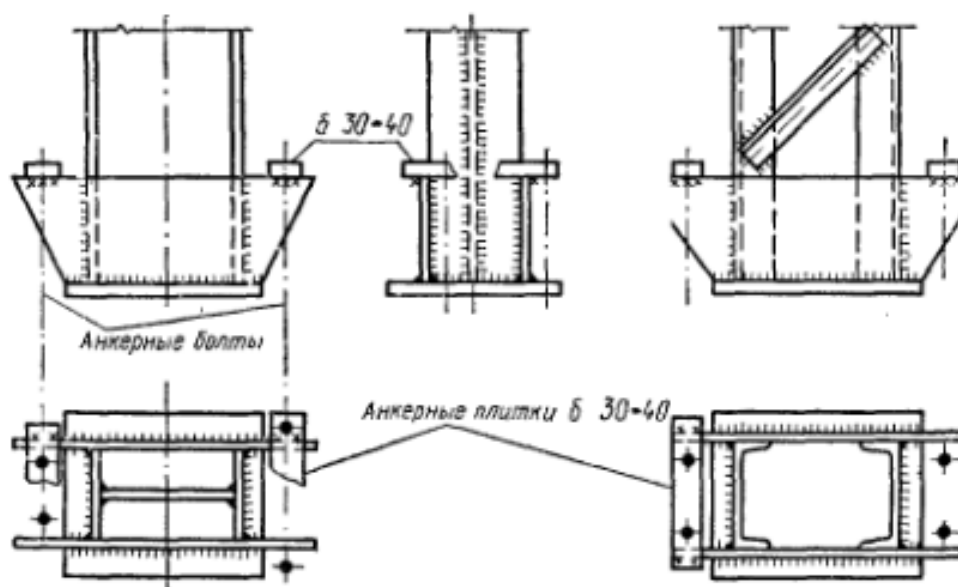


Рис. 8.8 Жесткие базы колонн

Для фундаментов применяют бетон класса прочности В15-В30. Диаметр анкерных болтов в центрально-сжатых колоннах принимают конструктивно $d=24-36$ мм и более.

8.2.3 Шарнирное сопряжение колонны с фундаментом

Особенностью их является крепление анкерными болтами непосредственно за опорную плиту с двух сторон колонны по ее оси перпендикулярно плоскости рамы. При больших нагрузках (или при необходимости развивать базу в одном направлении) для уменьшения толщины опорной плиты передача нормальной силы на плиту осуществляется через стержень колонны, траверсы и ребра (Рис. 8.9). Толщину опорной плиты базы определяют расчетом, но из конструктивных соображений принимают не менее 20 мм. Опираение стержня колонны на опорную плиту может быть двух типов: через фрезерованный торец колонны при строганной верхней плоскости плиты и через сварные угловые швы.

Диаметр анкерных болтов в центрально-сжатых колоннах принимают конструктивно $d=20-30$ мм.

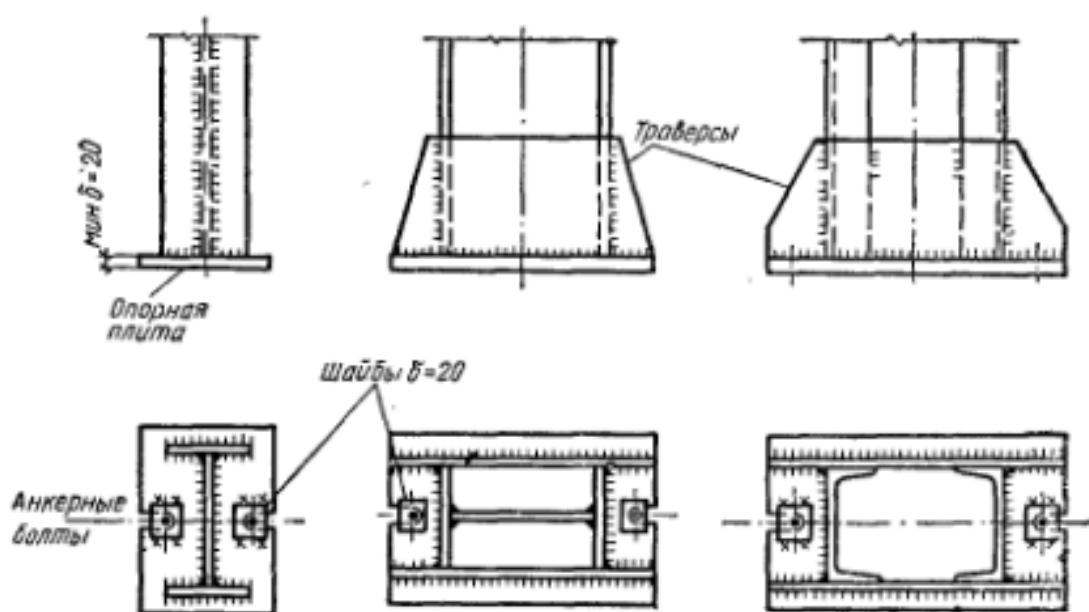


Рис. 8.9 Шарнирные базы

Существуют два основных способа установки колонн на фундамент: на стальные подкладки толщиной 40-60 мм между опорной плитой и верхом фундамента с последующей подливкой цементным раствором и на заранее установленные опорные плиты базы. Базы колонн должны приниматься с фрезерованными торцами (вместе с ребрами и траверсами), опирающимися на заранее поставленные и выверенные опорные плиты со строганной верхней плоскостью. Такой способ установки получил название безвыверочного монтажа. Конструкция баз при этом способе упрощается, ускоряется монтаж колонн, повышается точность установки. Выверку плит и установку их

в проектное положение выполняют с помощью установочных болтов (Рис. 8.10).

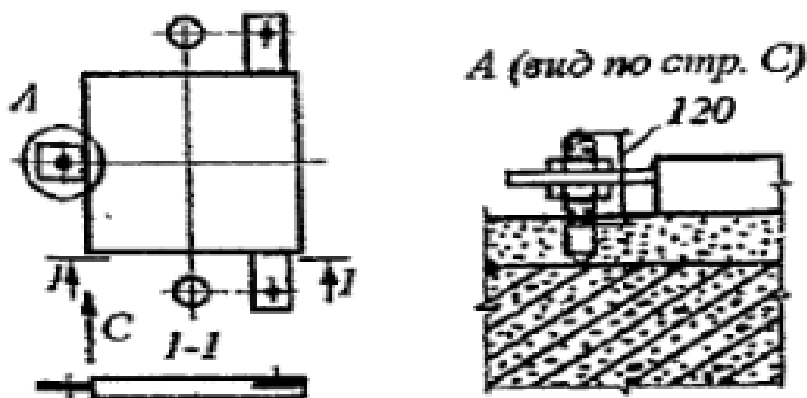


Рис. 8.10 Установочные болты

Отметку низа опорной плиты назначают с таким расчетом, чтобы верх базы не доходил до уровня чистого пола на 50-100 мм.

В базах без траверс роль установочных болтов могут обеспечить анкерные болты, снабженные для этой цели дополнительными шайбами и гайками.

Для обеспечения точности установки фундаментных болтов следует предусмотреть объединение болтов в жесткие блоки (Рис. 8.11).

Применяют в бескрановых зданиях, в зданиях с подвесным транспортом и с мостовыми кранами общего назначения грузоподъемностью до 20т. Опорная плита должна быть компактной в плане и не иметь больших консольных вылетов, поэтому для фундаментов следует применять бетоны высокой прочности. Отверстия в плитах для анкерных болтов назначают на 20-30 мм больше диаметра болта.

Для передачи на фундамент горизонтальных сил, если они не могут быть уравновешены силами трения, предусматривают упоры, заделанные в фундамент (Рис. 8.12) [серия 1.423.3-8.2-00ПЗКМ]. Так же упоры устанавливают в связевых блоках. Размеры упоров определяют расчетом на совместное воздействие ветровой нагрузки на торец здания с продольным торможением крана.

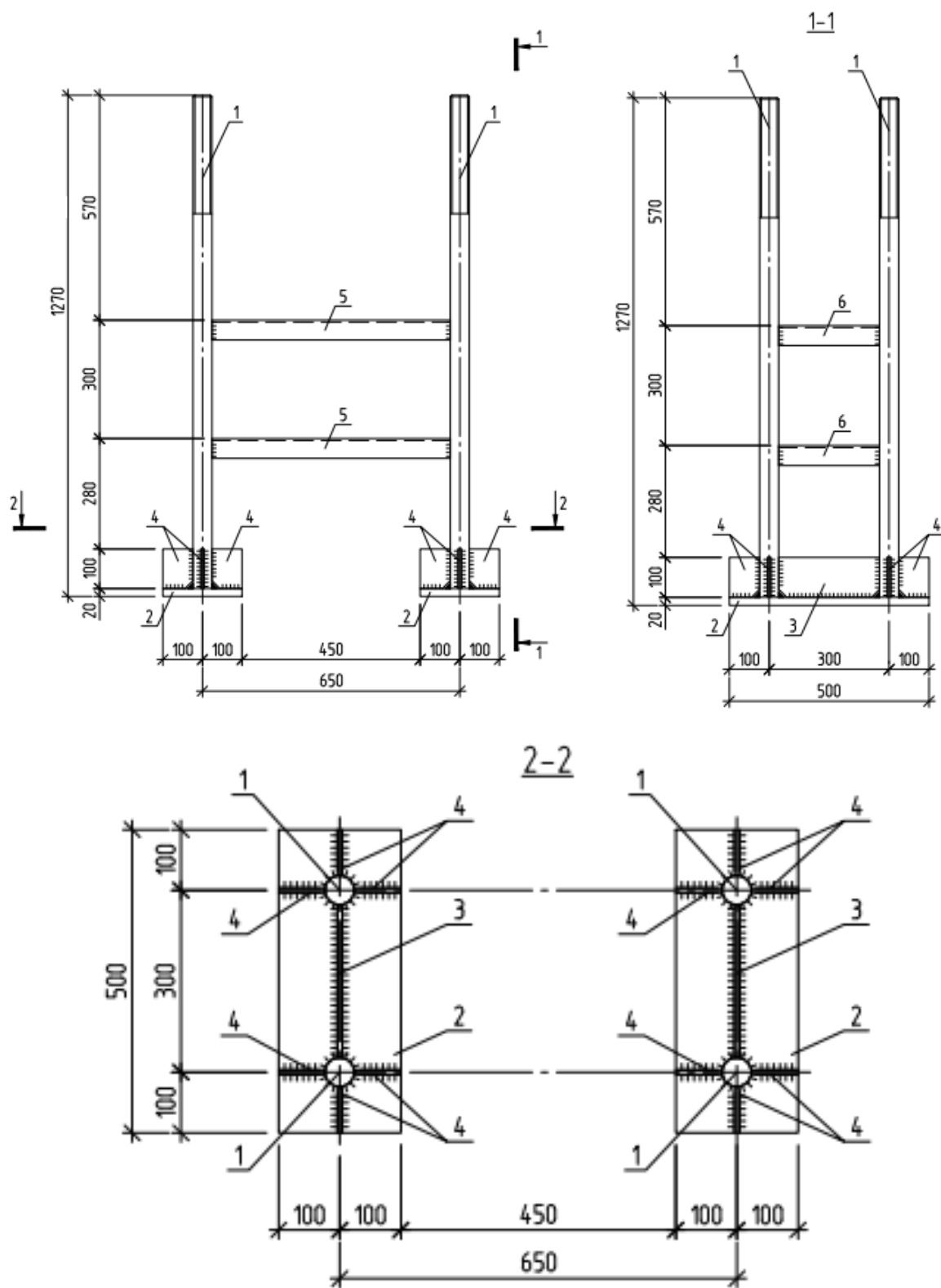


Рис. 8.11 Блок фундаментных болтов

8.2.4 Базы без траверс

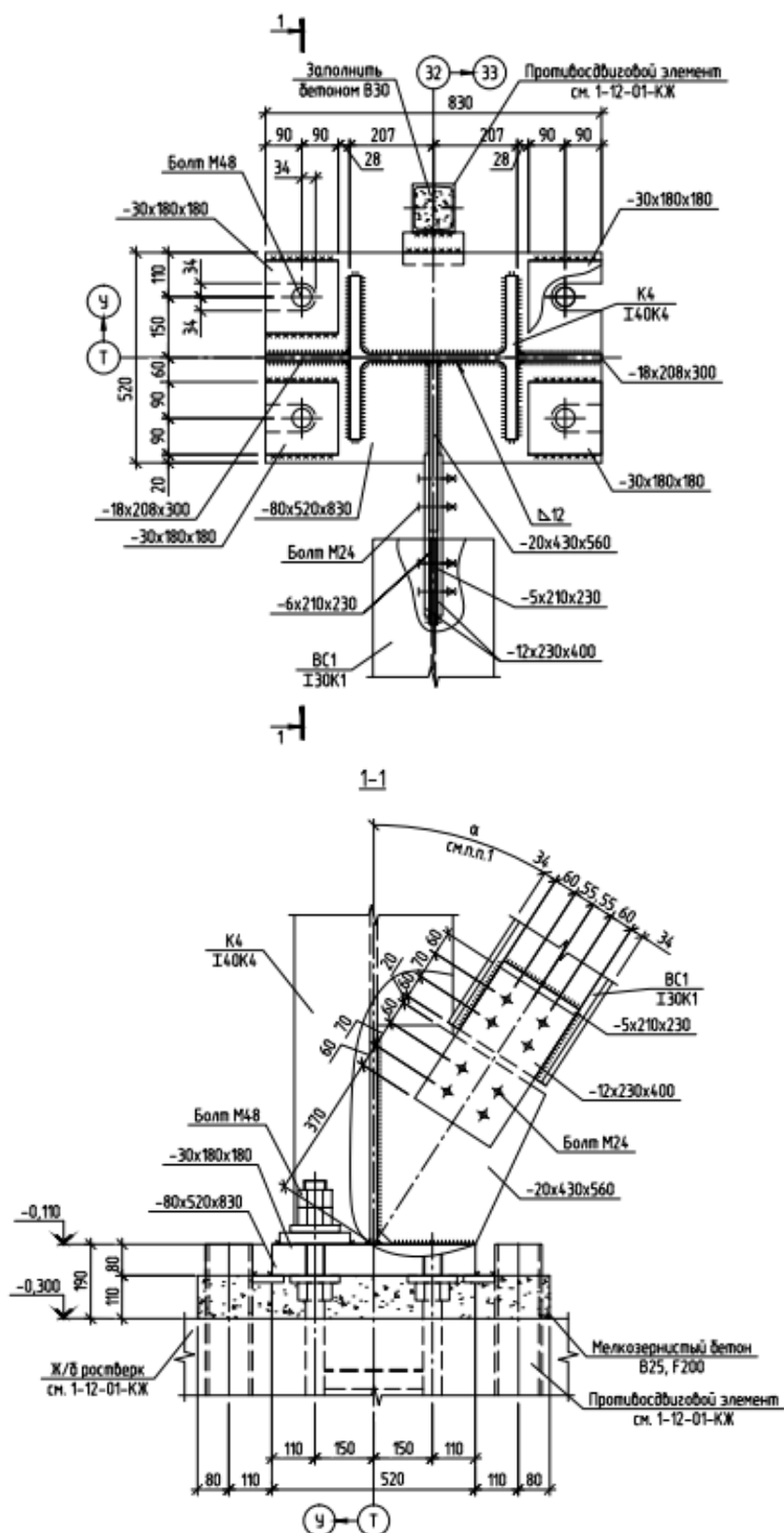


Рис. 8.12 Конструкция базы без траверс

8.2.5 Базы с траверсами

Для обеспечения жесткости базы и уменьшения толщины опорной плиты устанавливают траверсы, ребра жесткости и диафрагмы. Расчет траверс, ребер и диафрагм производится на реактивный отпор фундамента, приходящийся на их долю.

В базах с общими траверсами последние рассчитывают как однопролетные балки с консолями. Анкерные плиты рассчитывают как однопролетные балки, опертые на траверсы и загруженные силами, равными несущей способности анкерных болтов.

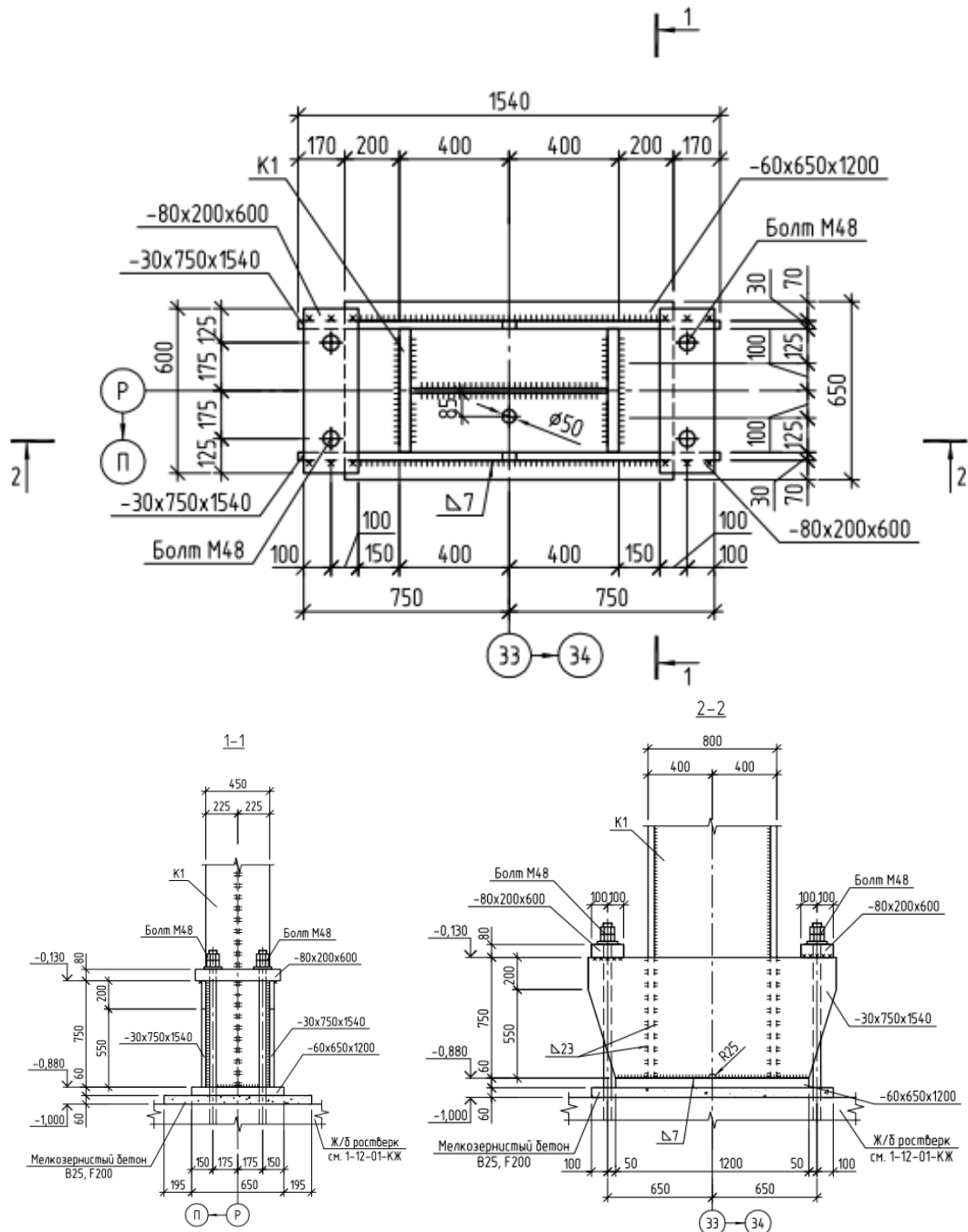


Рис. 8.13 Конструкция баз с траверсами

8.2.6 Основные типы анкерных болтов и область их применения

По конструктивному решению болты подразделяются на следующие типы: изогнутые; с анкерной плитой; составные с анкерной плитой; съемные с анкерным устройством; прямые; с коническим концом см. Рис. 8.14.

По способу установки болты подразделяются на устанавливаемые до бетонирования фундаментов и устанавливаемые на готовые фундаменты или другие конструктивные элементы в просверленные или готовые "колотцы".

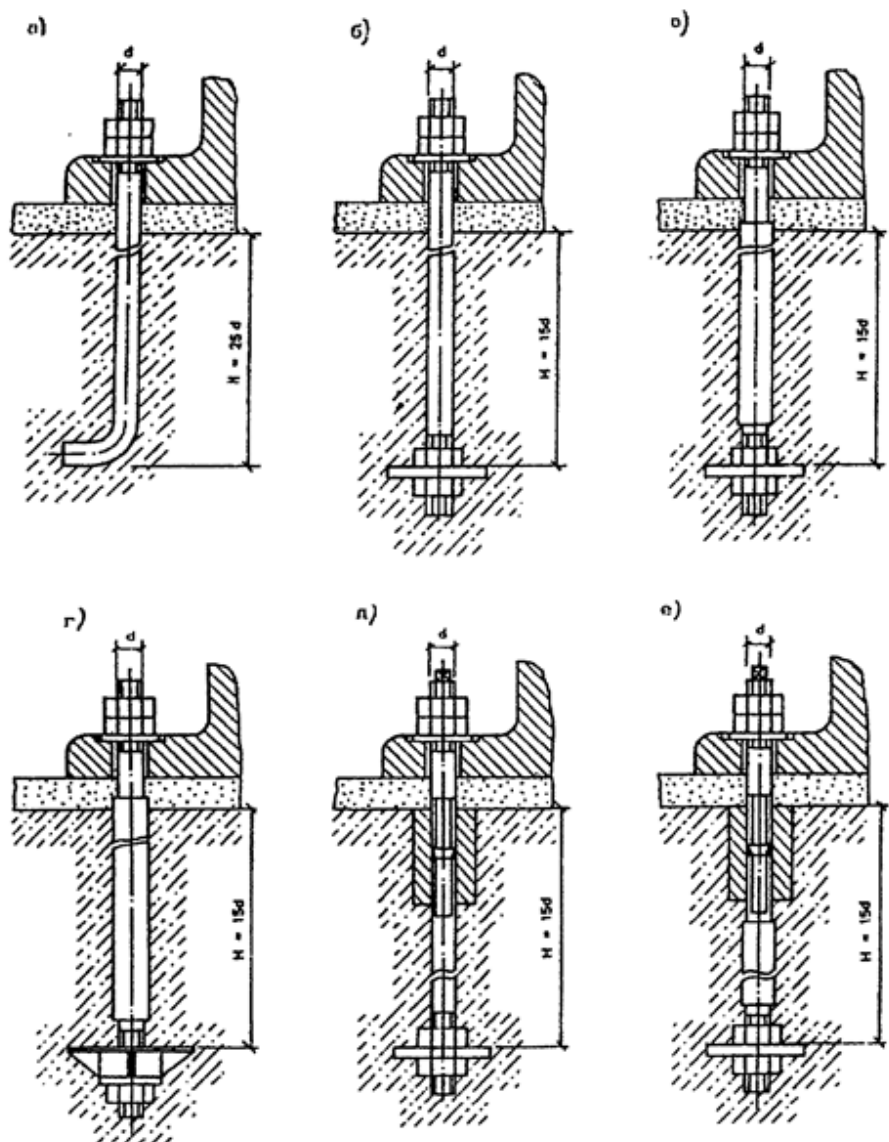


Рис. 8.14 Анкерные болты:

а – изогнутые; б, в, г – с анкерной плитой; д, е – составные с анкерной плитой

По условиям эксплуатации болты подразделяются на расчетные и конструктивные.

К расчетным относятся болты, воспринимающие нагрузки, возникающие при эксплуатации строительных конструкций или работы оборудования.

К конструктивным относятся болты, предусматриваемые для крепления строительных конструкций и оборудования, устойчивость которых против опрокидывания или сдвига обеспечивается собственным весом конструкции или оборудования. Конструктивные болты предназначены для рихтовки строительных конструкций и оборудования во время их монтажа и для обеспечения стабильной работы конструкций и оборудования во время эксплуатации, а также для предотвращения их случайных смещений.

Марка сталей расчетных болтов, эксплуатируемых при расчетной зимней температуре наружного воздуха до минус 65°С включительно, должна назначаться в соответствии с указаниями Таблица 8.1 и по ГОСТ 24379.0-2012. Конструкцию и размеры болтов принимают по ГОСТ 24379.1-2012, гаек – по ГОСТ 5915-70 и по ГОСТ 10605-94.

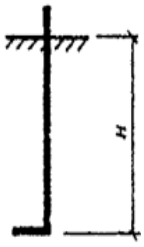
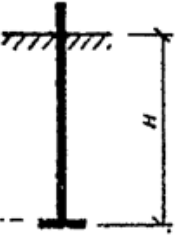
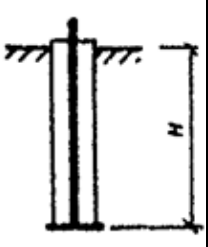
Таблица 8.1

Марки стали

Расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С	От -40 °С и выше	От -40 °С до -50 °С	От -51 °С до -65 °С
Марка стали	ВСтЗкп2, ВСЗпс2, Ст20	09Г2С-6, 10Г2С1-6	09Г2С-8, 10Г2С1-8

Таблица 8.2

Основные разделы анкерных болтов

Конструкция болтов	С отгибом	С анкерной плиткой		Прямые	Конические (распорные)
Диаметр болтов (по резьбе) d, мм	12-48	Глухих 12-140	Съемных 56-125	12-48	6-48
1	2	3	4	5	6
Эскизы					
Глубина заделки Н принята из условия $R_{ва}=145\text{МПа}$					
Минимальная глубина заделки	25d	15d	30d	10d	10d (8d)*

Кон- струк- ции болтов	С от- гибом	С анкерной плиткой		Прямые	Конические (распорные)
Диа- метр болтов (по резьбе) d, мм	12-48	Глухих 12- 140	Съемных 56- 125	12-48	6-48
1	2	3	4	5	6
Н					
Мини- мальное расстоя- ние между осями болта	6d	8d	10d	5d	8d
Мини- мальное расстоя- ние от оси бол- та до границы фунда- мента	4d	6d	6d	5d	8d
Коэф- фициент нагрузки χ	0,4	0,4	0,25	0,6	0,55
Коэф- фициент ста- бильно- сти за- тяжки k	1,9 (1,3)**	1,9 (1,3)	1,5	2,5 (2)	2,3 (1,8)
* В скобках дана глубина заделки для болтов диаметром менее 16 мм. ** В скобках даны значения коэффициента к статическим нагрузкам.					

8.2.7 Оголовки колонн

Оголовок колонны служит опорой для вышележащей конструкции и распределяет сосредоточенную нагрузку на колонну равномерно по сечению стержня.

Опирающие стропильные фермы на колонны могут быть спроектированы сверху или сбоку. Опирающие конструкции сверху (Рис. 8.17) применяют при шарнирном присоединении ригеля к колонне, опирающие сбоку (Рис. 8.19) – как при шарнирном так и при жестком.

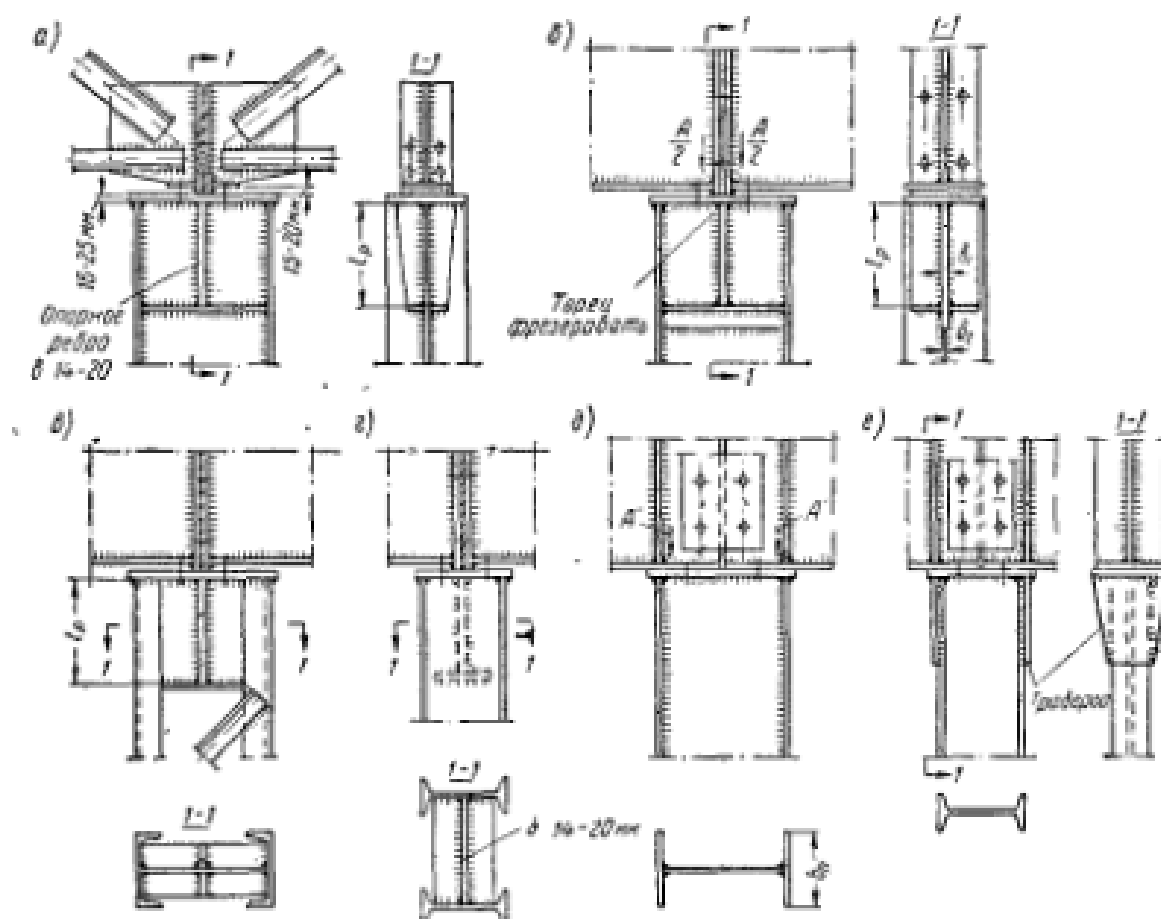


Рис. 8.15 Оголовки колонн

а – с опиранием стропильных ферм сверху;

б, в, г, д, е – с опиранием балок сверху

При опирании сверху широко распространено решение, в котором опорный узел вышележащей конструкции имеет поперечное ребро с выступающими на 15-25 мм фрезерованным торцом, через который передается давление на колонну (Рис. 8.15а-г). Реже применяется конструкция узла, где опорное давление передается внутренним ребром, расположенным над полкой колонны (Рис. 8.15, д, е).

Если поперечное ребро имеет выступающий торец, то опорное давление передается сначала на опорную плиту оголовка колонны и далее равномерно распределяется по сечению стержня. Опорная плита оголовка служит для передачи давления с торцов балки на опорные ребра оголовка, поэтому ее толщина определяется по конструктивным соображениям толщиной 16-25 мм. С опорной плиты давление передается на опорные ребра оголовка через горизонтальные сварные швы, прикрепляющие торцы ребер к плите. В случае установки опорной плиты на фрезерованный торец стержня колонны обеспечивается плотное прилегание плиты к ребру колонны и опорное давление передается непосредственным контактом поверхностей, а сварные швы, прикрепляющие опорную плиту, принимаются конструктивно минимальной толщины.

Низ опорных ребер оголовка обрамляется обычно поперечными ребрами, которые препятствуют их скручиванию из плоскости колонны при неравномерном давлении торцов балок, возникающем от неточности изготовления или монтажа

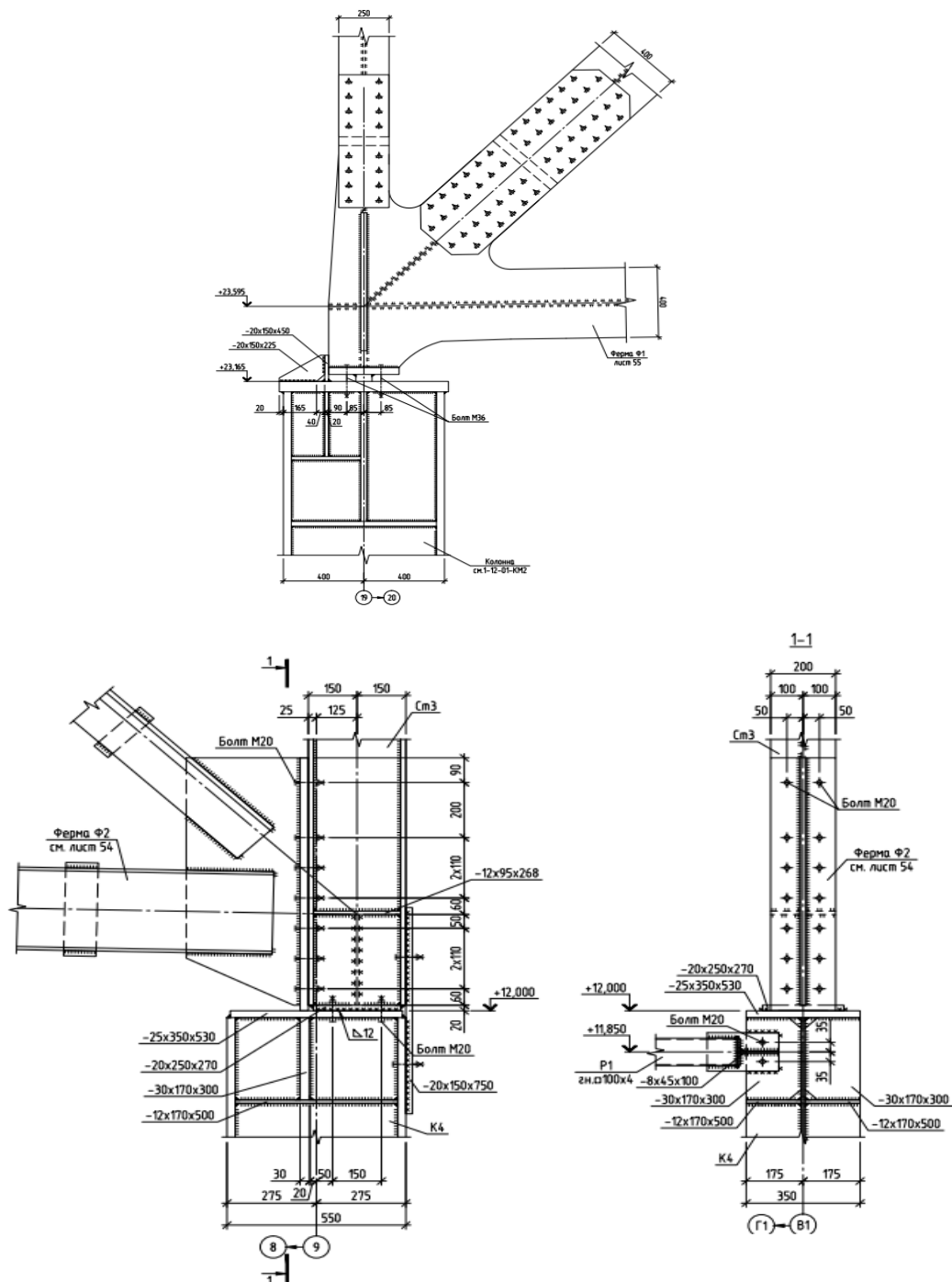


Рис. 8.16 Примеры опирания стропильных ферм на колонну сверху

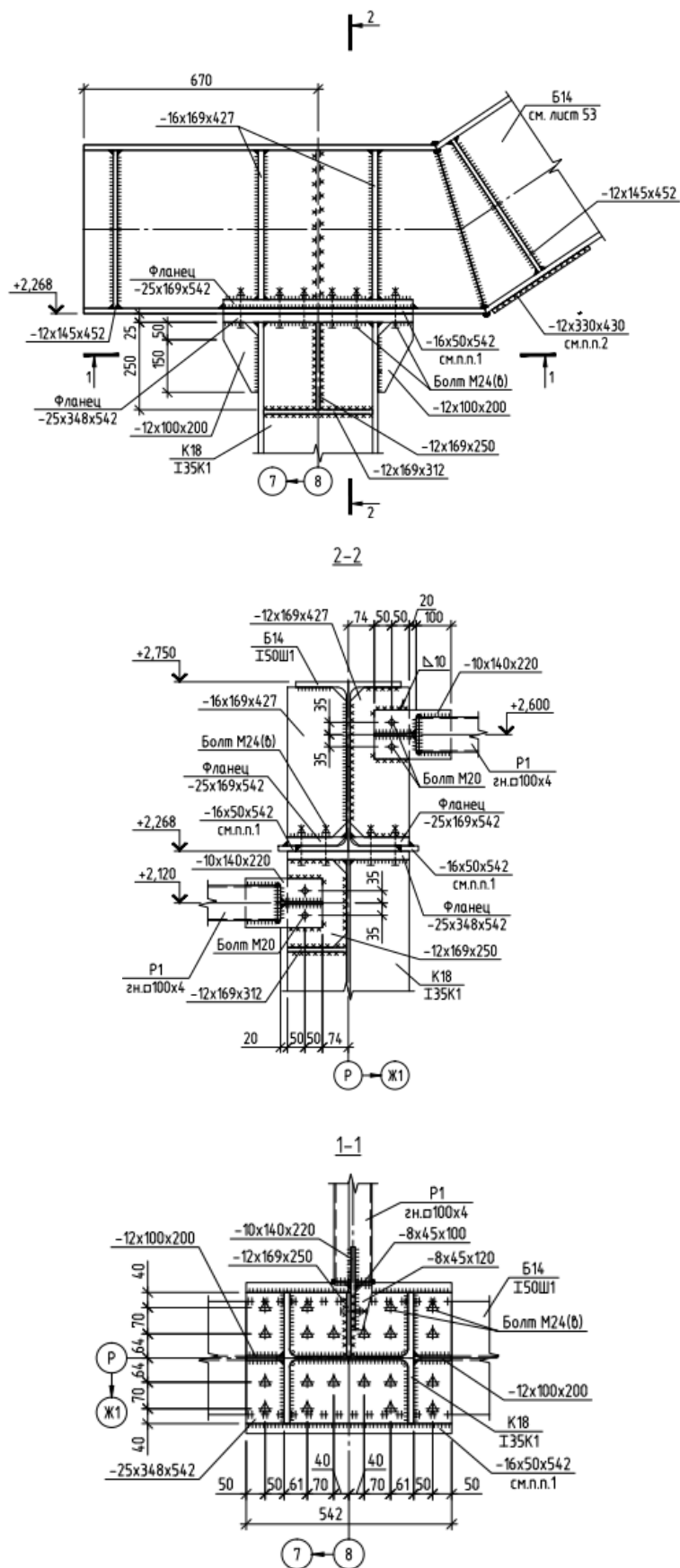


Рис. 8.18 Пример опирания балки на колонну сверху

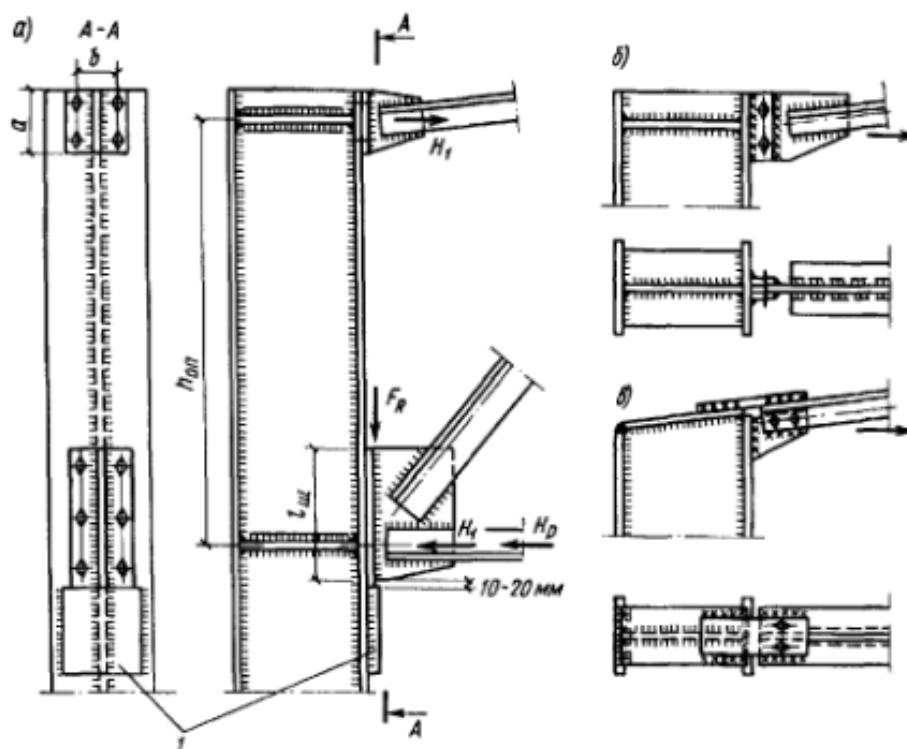


Рис. 8.19 Пример опирания фермы на колонну сбоку:
а – опирание с помощью опорного столика; б, в – варианты крепления
верхнего пояса; 1- опорный столик

При опирании балок на колонну сбоку (Рис. 8.20) вертикальная реакция передается через строганный торец опорного ребра балки на торец опорного столика и с него на полку колонны.

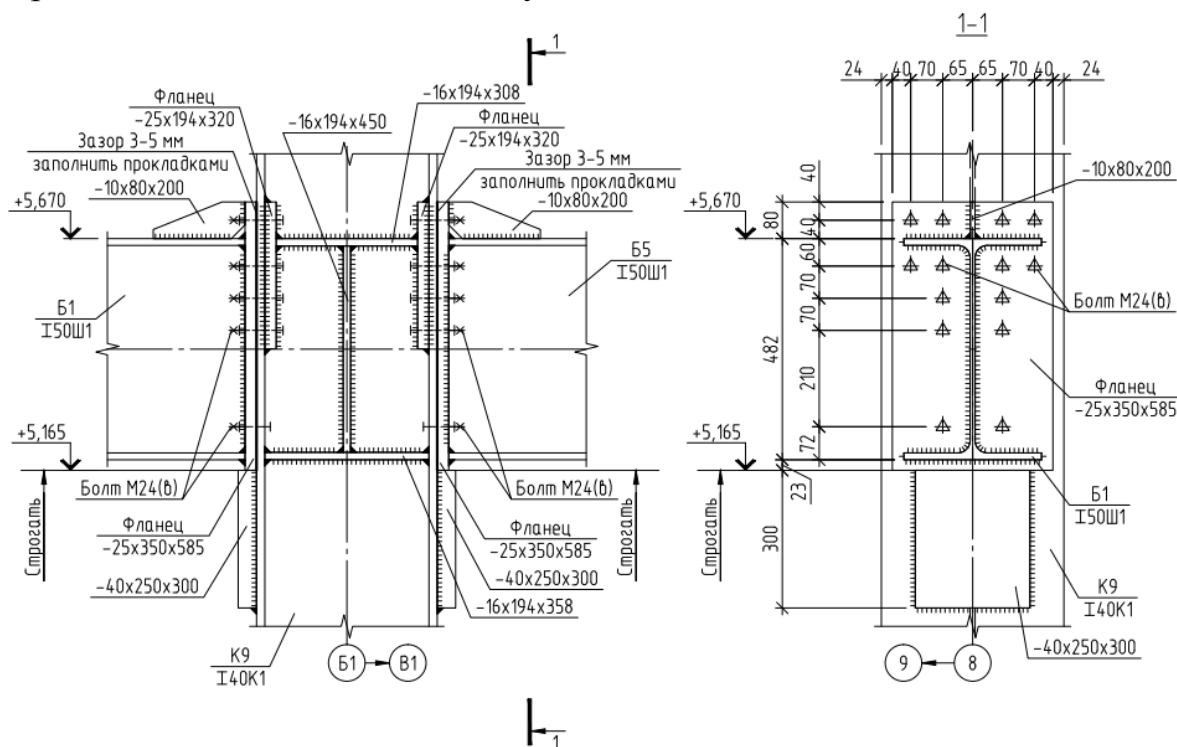


Рис. 8.20 Пример примыкания балок к колонне сбоку

Толщина опорного столика принимается на 5-10 мм больше толщины опорного листа балки. Каждый из двух швов, прикрепляющих столик к колонне, рассчитывается на $2/3$ опорной реакции, чем учитывается возможная "непараллельность" торцов балки и столика вследствие неточностей при изготовлении и, в связи с этим, неравномерная передача давления между торцами.

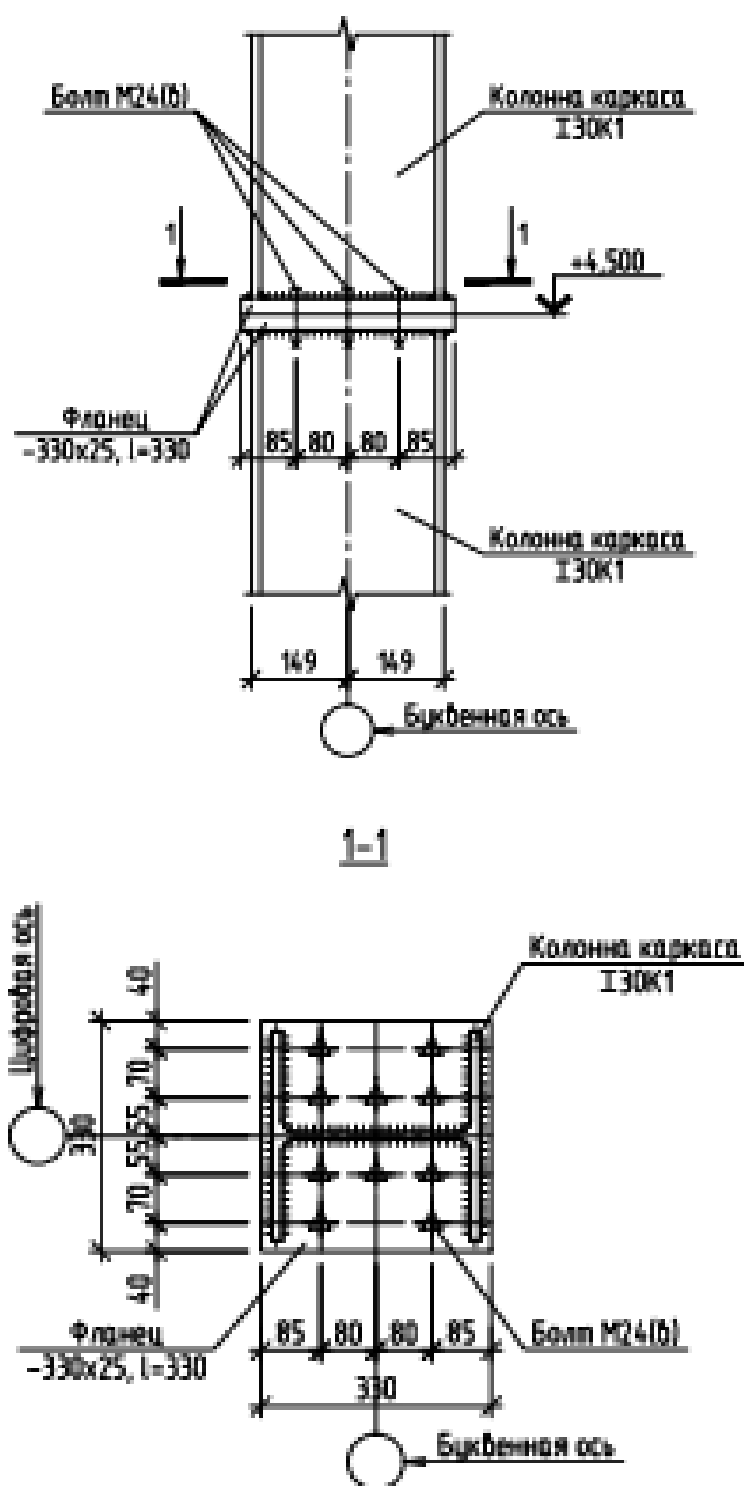


Рис. 8.21 Пример стыка колонны

Стыки в колоннах могут быть заводскими и монтажными. Заводские швы служат для увеличения длины прокатных профилей или листов, если не удовлетворяют проектной длине колонны. Заводские стыки выполняют сварными встык с полным приваром.

Монтажные стыки выполняют встык с полным проваром или на высокопрочных болтах. При соединении встык торцы элементов фрезеруют. Для выверки и фиксации стыкуемых элементов устанавливают монтажные уголки. В монтажных соединениях на высокопрочных болтах сжимающие усилия передаются через опорный столик.

Стыки должны обеспечивать равнопрочность шва и основного металла. При швах встык их располагают вразбежку в полках и стенке, а в случае применения накладок допускается устройство стыка в одном сечении.

В заводских стыках усилия передаются сварными швами.

8.2.8 Консоли колонн

Консоли проектируют одностенчатыми и двухстенчатыми (см. Рис 8.22).

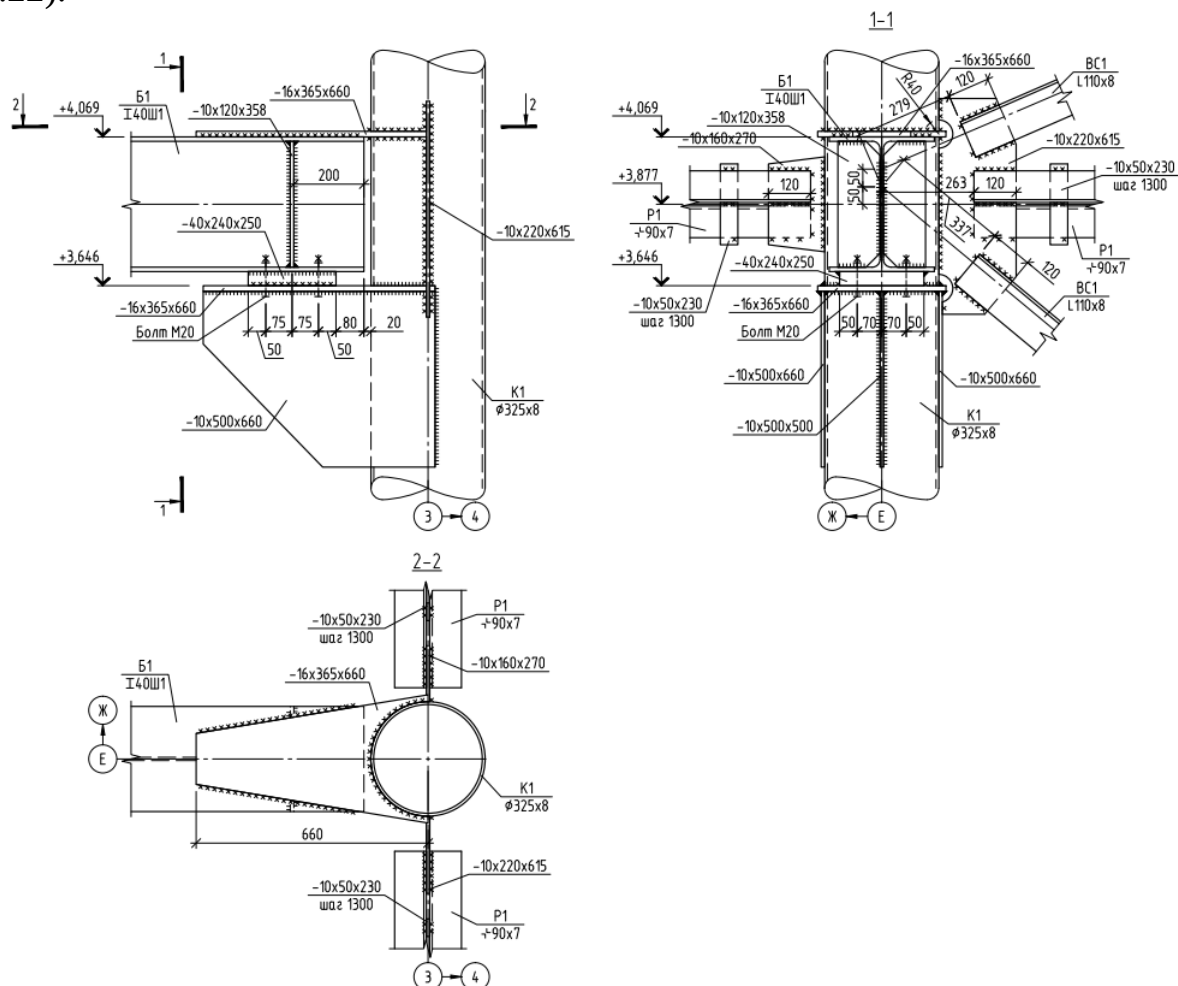


Рис. 8.22 Пример устройства консоли колонны круглого сечения

Проверка напряжений в опорном сечении одностенчатой консоли допускается производить в предположении, что изгибающий момент принимается только полками, а поперечная сила – стенкой. Должны быть проверены сварные швы, прикрепляющие полки к колонне, полка колонны работает на растяжение в направлении толщины проката, швы крепления ребер жесткости к стенке колонны выполняются на длину не более $85\beta k_f$.

При опирании на консоли подкрановых балок верхнюю полку консоли конструктивно делают большей толщины, чем нижнюю.

Ребра в колонне принимаются такой же толщины, как и полки консоли.

9. Балки

Балки являются основным и простейшим конструктивным элементом, работающим на изгиб.

По типу сечения балки могут быть прокатными либо составными: сварными, клепаными или болтовыми (см. Рис. 9.1). Предпочтительны прокатные балки как менее трудоемкие, но ограниченность сортамента делает невозможным их применение при больших изгибающих моментах.

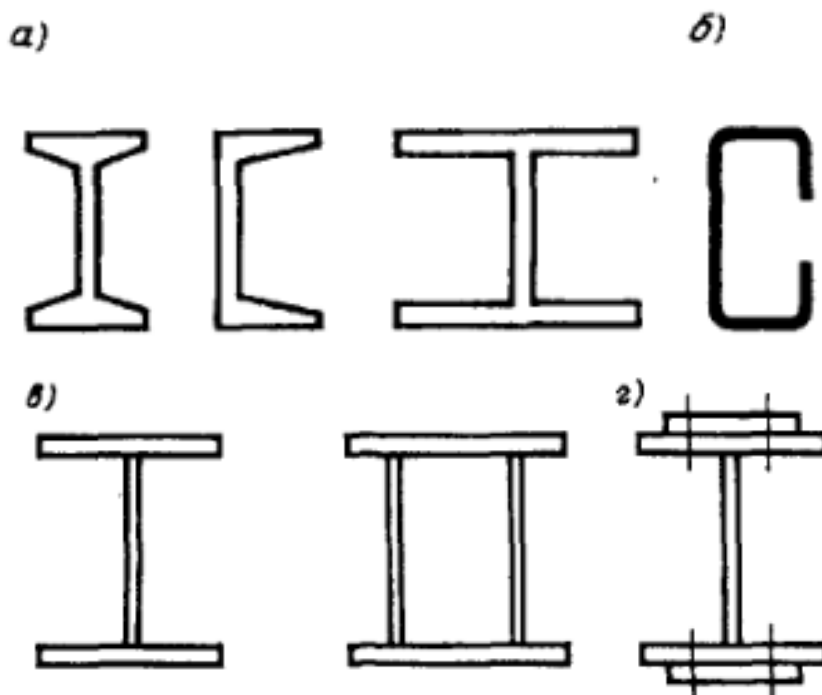


Рис. 9.1 Сечения балок

***а – прокатных; б – тонкостенных гнутых; в – составных сварных;
г – сварных с усилением на высокопрочных болтах***

Применяются в строительстве и тонкостенные балки, балки из гнутых профилей, прессованные и составные из алюминиевых сплавов, бистальные балки, т.е. балки, сваренные из двух марок стали, а также балки предварительно напряженные.

В строительстве наиболее часто применяют балки двутаврового сечения. Они удобны в компоновке, технологичны и экономичны по расходу металла.

По статической работе различают однопролетные (разрезные), многопролетные (неразрезные) и консольные балки. Разрезные балки проще неразрезных в изготовлении и монтаже, нечувствительны к осадкам опор. Однако по затрате металла они менее выгодны, чем неразрезные и консольные. Неразрезные балки благодаря наличию опорного момента, уменьшающего основные моменты в пролетах, более экономичны по затрате материала. Неразрезные балки разумно применять при надежных основаниях, когда нет опасности перегрузки балок вследствие резкой разницы в осадке опор. Консольные балки могут быть как разрезными, так и многопролетными. Консо-

ли разгружают пролетные сечения балок и тем самым повышают экономические показатели последних.

9.1 Прокатные балки

В качестве прокатных балок, работающих на изгиб, применяются:

- двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок (нормальные двутавры типа Б, широкополочные двутавры типа Ш) по ГОСТ 26020-83;
- двутавры стальные горячекатаные (с уклоном полок) по ГОСТ 8239-89;
- двутавры с параллельными гранями полок по СТО АСЧМ 20-93.

Для прокатных прогонов скатных кровель применяются швеллеры стальные горячекатаные по ГОСТ 8240-97.

В опорных зонах и в местах приложения значительных сосредоточенных нагрузок стенки балок должны быть укреплены поперечными ребрами жесткости.

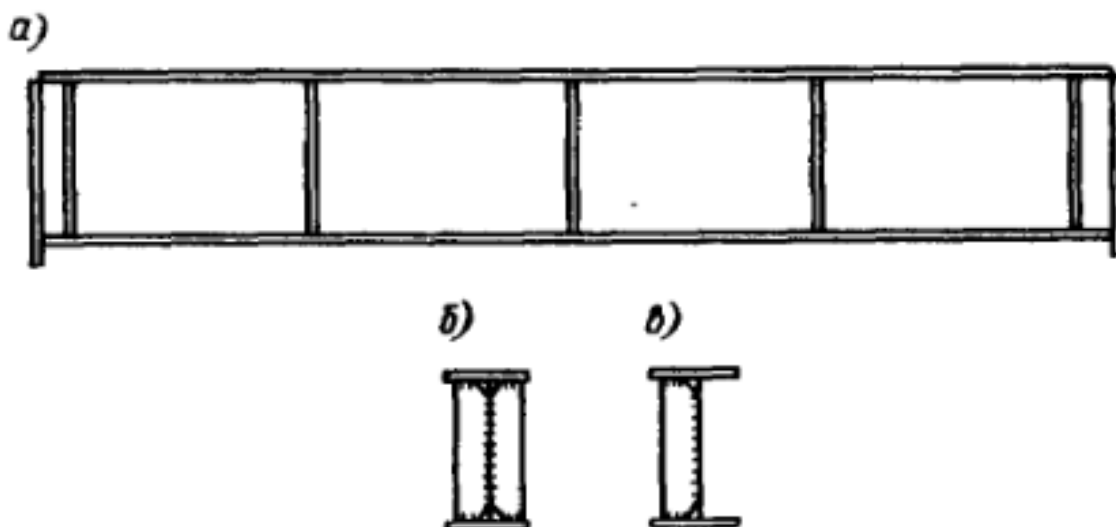


Рис. 9.2 Балка с поперечными ребрами

а – общий вид балки; б – двусторонние поперечные ребра; в – одностороннее ребро

9.2 Составные балки

Балки составного сечения применяют в случаях, когда прокатные балки не удовлетворяют хотя бы одному из условий – прочности, жесткости, общей устойчивости, т.е. при больших пролетах и больших изгибающих моментах. Составные балки, как правило, выполняют сварными.

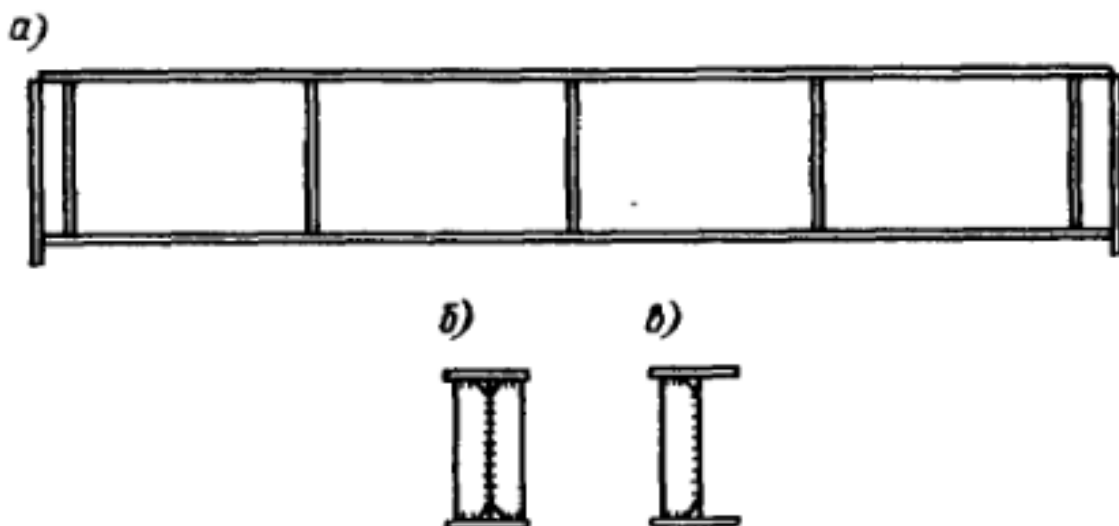


Рис. 9.3 Балка с поперечными ребрами
а – общий вид балки; *б* – двусторонние поперечные ребра; *в* – одностороннее ребро

Наибольшее применение получили балки двутаврового симметричного (Рис. 9.4, а), реже несимметричного, как правило, бистальные (Рис. 9.4, б).

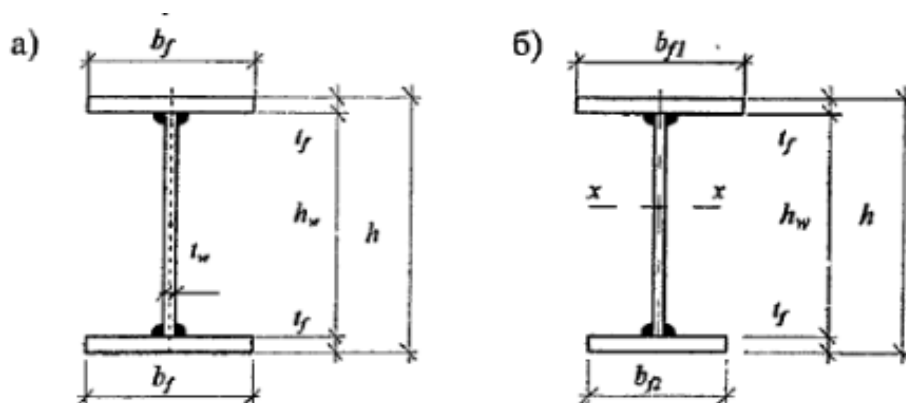


Рис. 9.4 Типы сечений составных сварных балок
а – симметричная балка; *б* – несимметричная балка

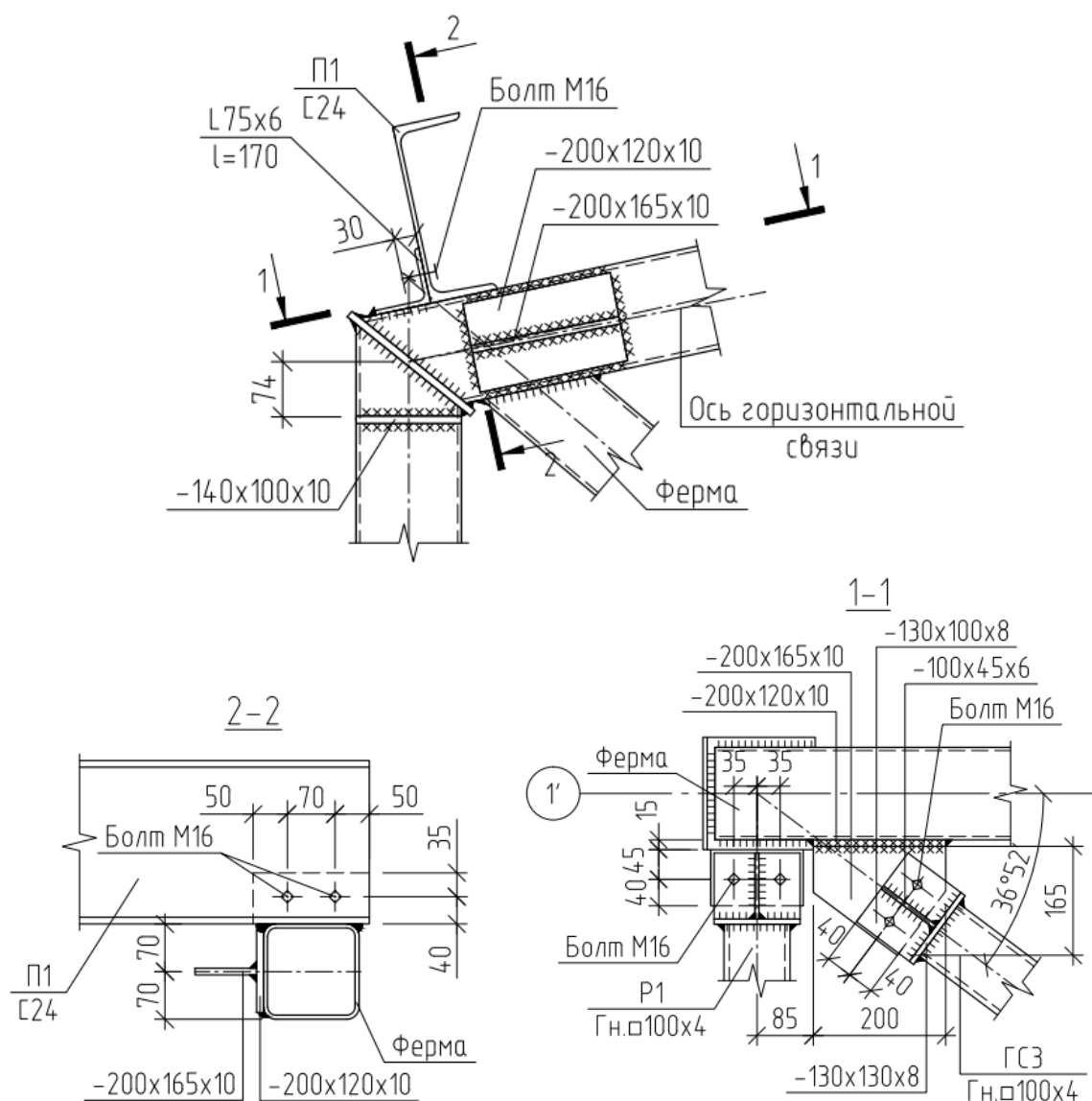


Рис. 9.5 Узел опирания прогона на ферму

Ниже приведены варианты узлов опирания балочных элементов, в том числе прогонов на колонны и стропильные фермы (см. Рис. 9.6-9.8).

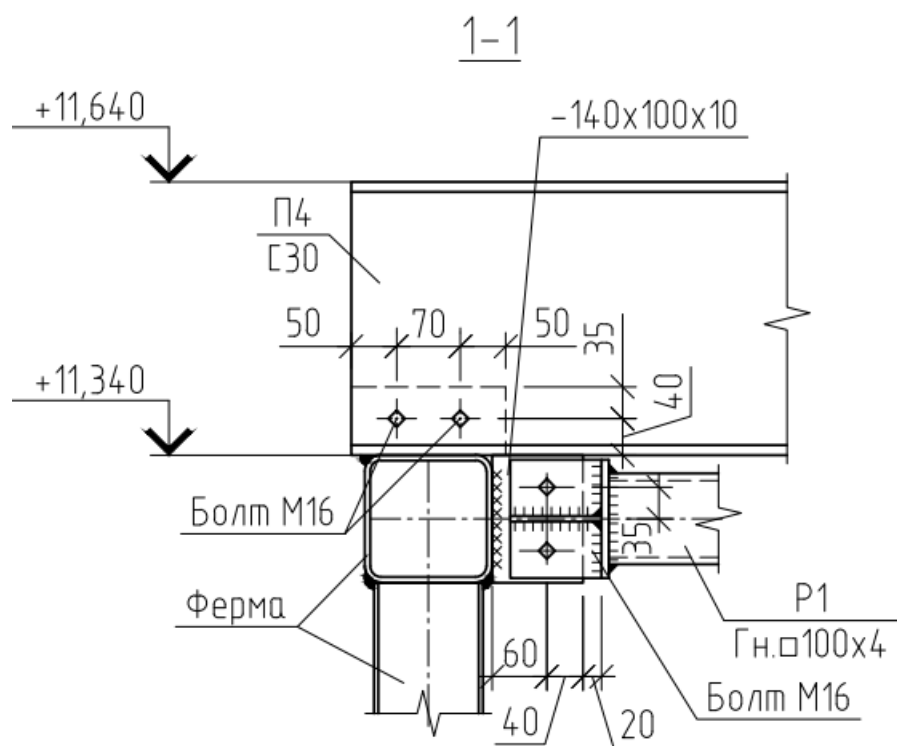
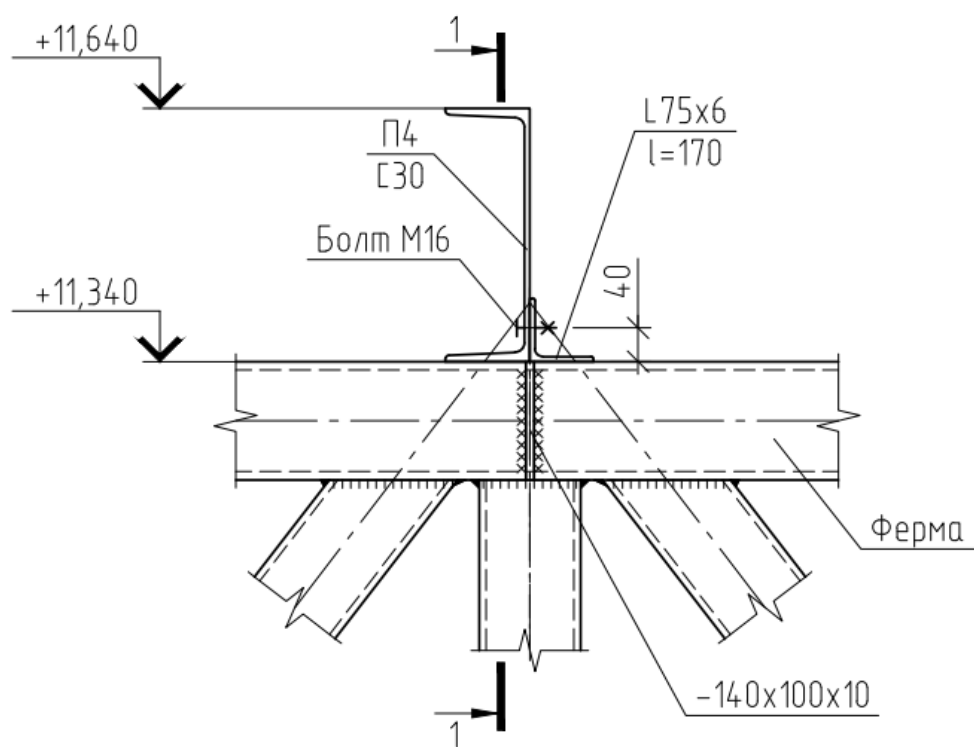


Рис. 9.6 Узел опирания прогона на ферму

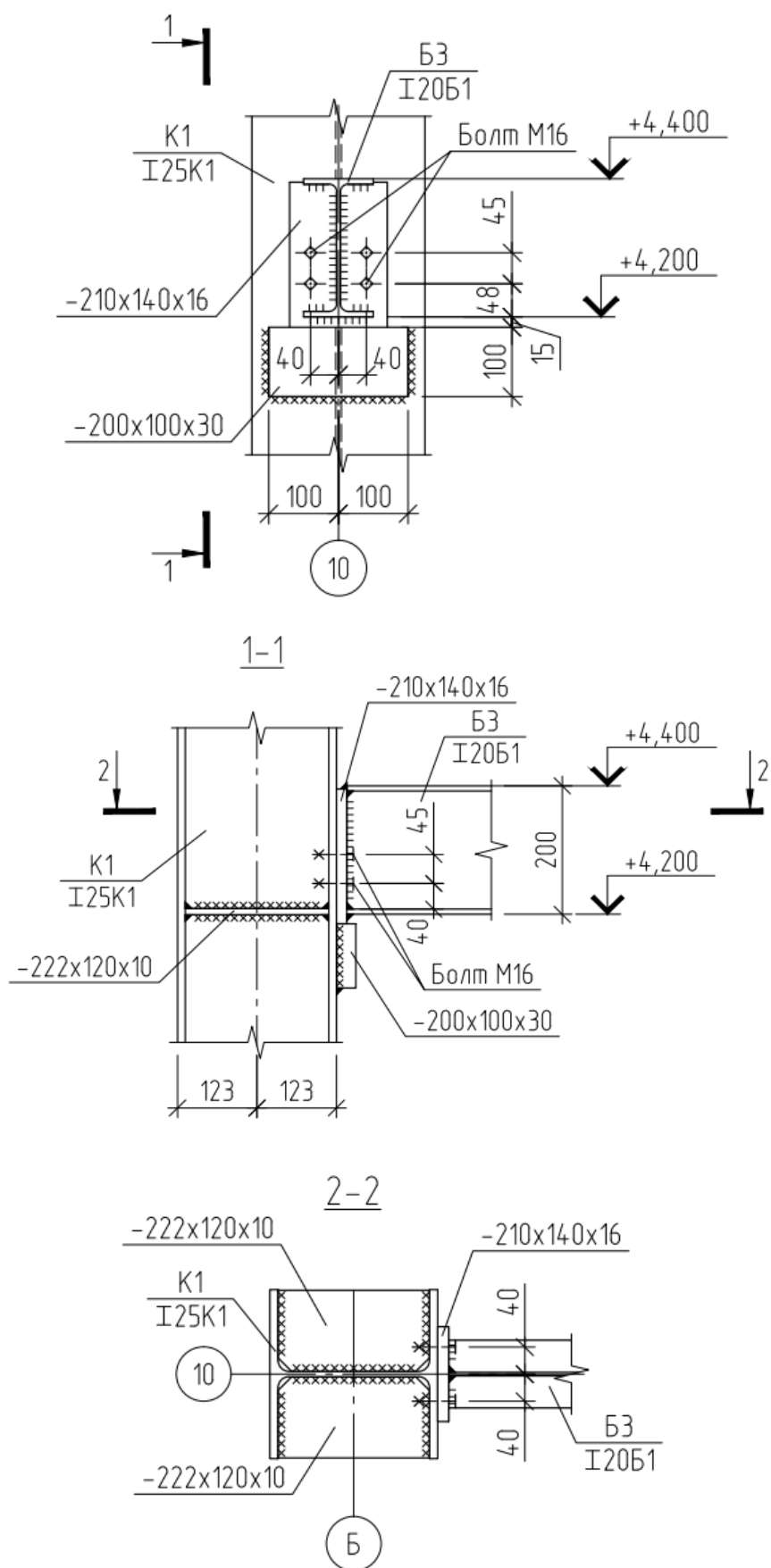


Рис. 9.7 Узел крепления балки к колонне сбоку

10. Фермы

10.1 Общие положения и классификация ферм

Фермой называют стержневую конструкцию соединенных между собой в узлах и образующих геометрически неизменяемую систему.

Если нагрузка приложена в узлах, а оси элементов фермы пересекаются в одной точке (центре узла), то жесткость узлов несущественно влияет на работу конструкции и в большинстве случаев их можно рассматривать как шарнирные. Тогда все стержни фермы испытывают только осевые усилия (растяжение или сжатие).

Фермы бывают плоскими (все стержни лежат в одной плоскости) и пространственными.

Плоские фермы могут воспринимать нагрузку, приложенную только в их плоскости, и нуждаются в закреплении из своей плоскости связями или другими элементами. Пространственные фермы образуют жесткий пространственный брус, способный воспринимать нагрузку, действующую в любом направлении (см. Рис. 10.1).

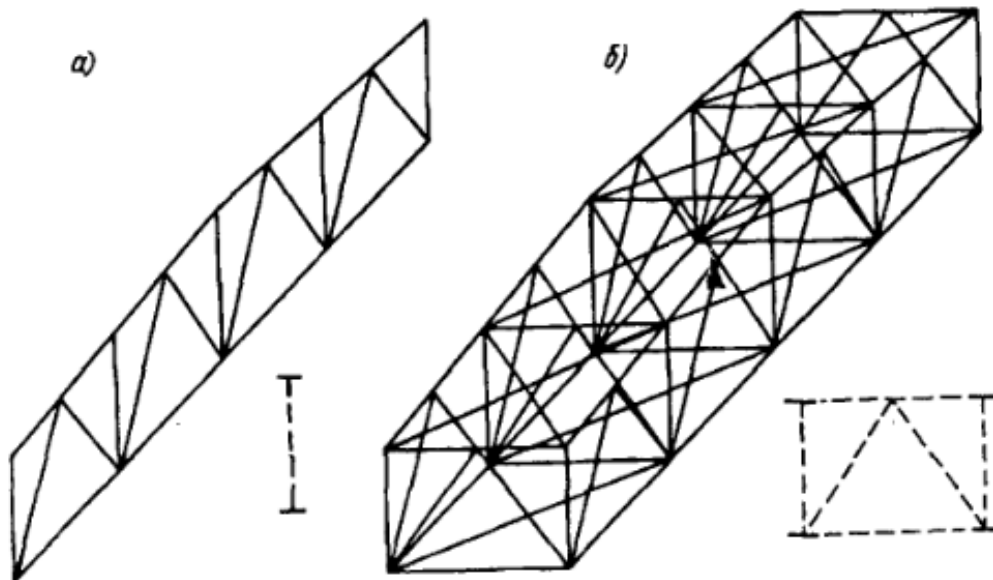


Рис. 10.1 Стропильные фермы:
а – плоская ферма б - пространственная ферма

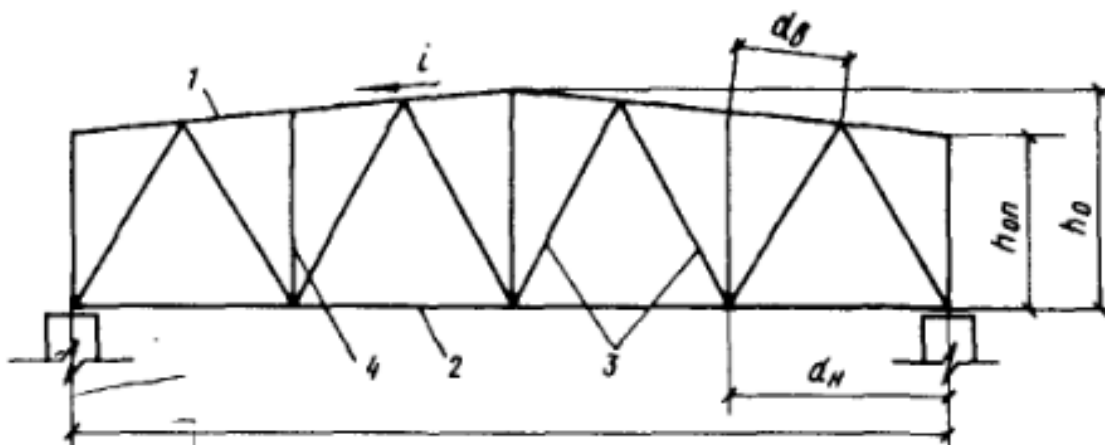


Рис. 10.2 Элементы ферм

**1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс; 3 – раскосы; 4 – стойки;
 $d_{\text{в}}$ – панель верхнего пояса; $d_{\text{н}}$ – панель нижнего пояса; h – высота ферм**

Основными элементами ферм являются пояса, образующие контур фермы, и решетка, состоящая из раскосов и стоек (Рис. 10.3). Соединение элементов в узлах осуществляется путем непосредственного примыкания одних элементов к другим (Рис. 10.3, а) или с помощью узловых фасонек (Рис. 10.3, б). Для снижения узловых моментов и обеспечения работы стержней на осевые усилия элементы ферм центрируются по осям центров тяжести.

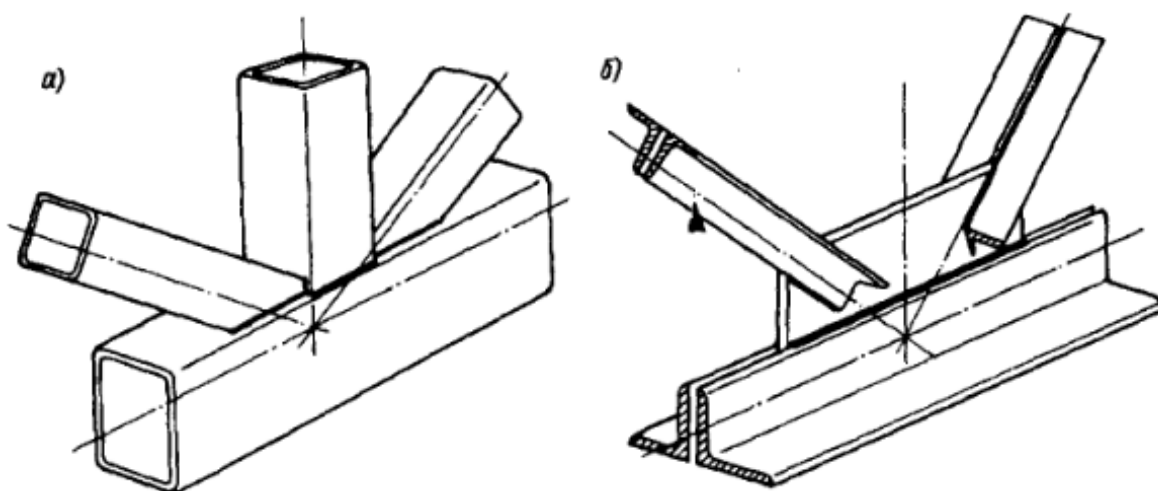


Рис. 10.3 Узлы ферм

а – с непосредственным примыканием элементов; б – на фасонках

Расстояние между соседними узлами поясов называется панелью ($d_{\text{в}}$ – панель верхнего пояса, $d_{\text{н}}$ – нижнего), расстояние между опорами – пролетом (l), расстояние между осями (или наружными гранями) поясов – высотой фермы (h_0).

Пояса ферм работают в основном на продольные усилия и момент (аналогично поясам сплошных балок); решетка ферм воспринимает в основном поперечную силу, выполняя функции стенки сплошной балки.

В зависимости от назначения, архитектурных требований и схемы приложения нагрузок фермы могут иметь самую разную конструктивную форму. Их можно классифицировать по следующим признакам:

- по статической схеме – балочные (разрезные, неразрезные, консольные), арочные, рамные, комбинированные (см. Рис. 10.4);
- по очертанию поясов – фермы с параллельными поясами, трапециевидные, треугольные, полигональные, сегментные (см. Рис. 10.5);
- по системе решетки – треугольная, раскосная, крестовая, ромбическая и др. (см. Рис. 10.6);
- по способу соединения элементов – сварные, клепаные, болтовые;
- по величине максимальных усилий – легкие фермы с сечениями элементов из простых прокатных или гнутых профилей (при усилиях в стержнях $N < 3000$ кН) и тяжелые фермы с элементами составного сечения ($N > 3000$ кН).

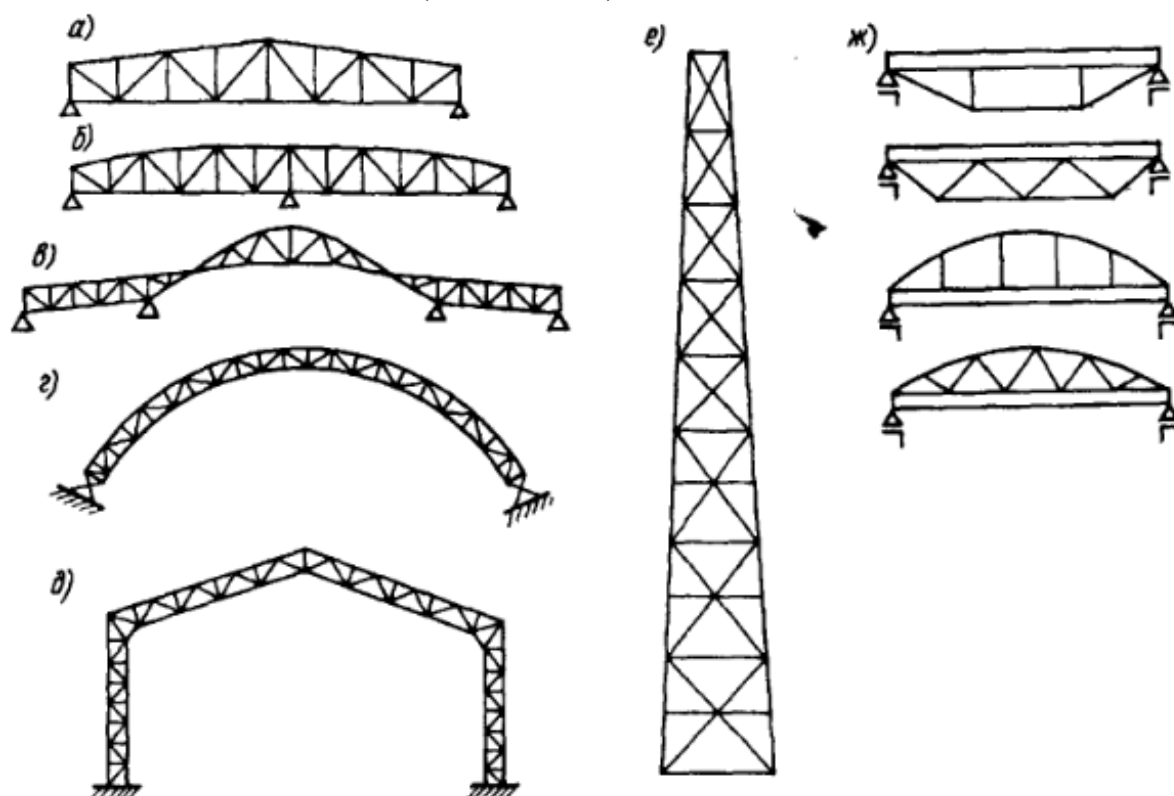


Рис. 10.4 Системы ферм

а – балочная разрезная; б – неразрезная; в, е – консольная; г – арочная; д – рамная; ж – шпренгельная-комбинированные

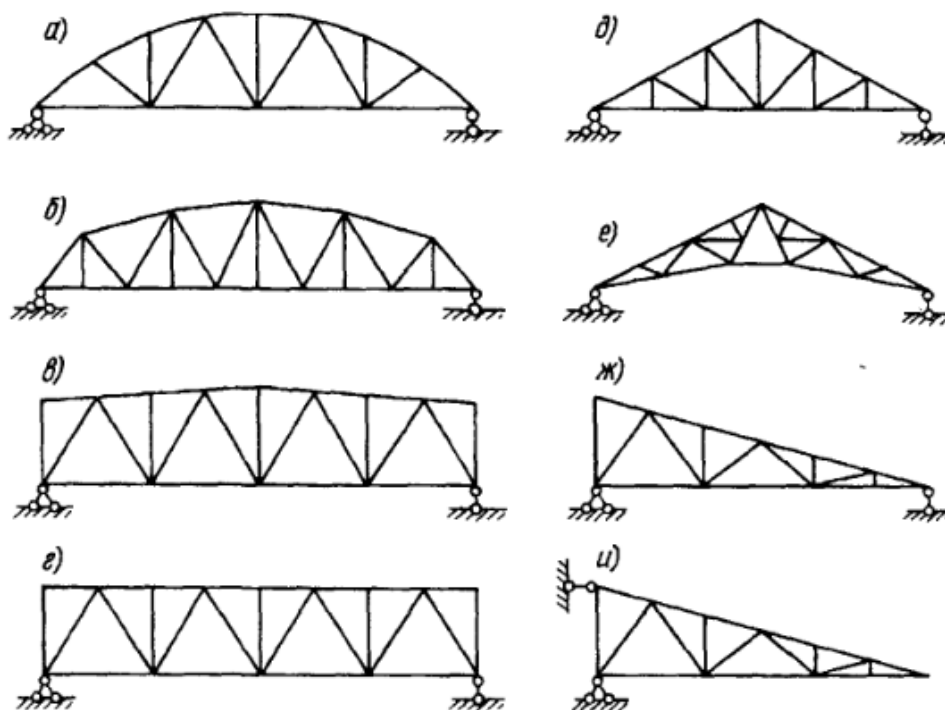


Рис. 10.5 Очертания поясов ферм

а – сегментное; б – полигональное; в – трапециевидальное; г – с параллельными поясами; д, е, ж, з – треугольное; к – полураскосная

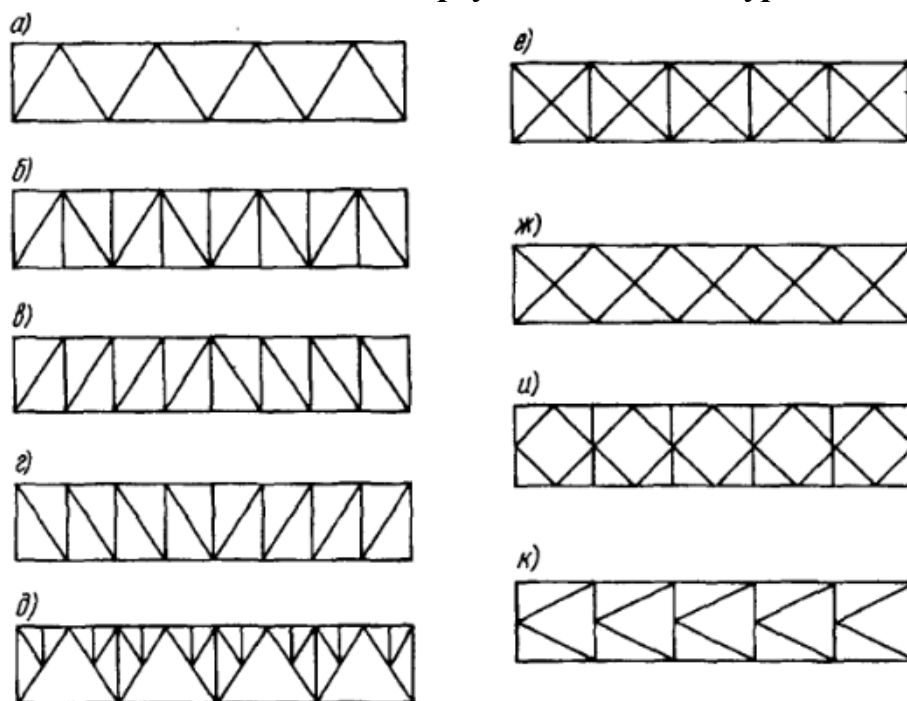


Рис. 10.6 Системы решетки ферм

а – треугольная; б – треугольная с дополнительными стойками; в – раскосная с восходящим раскосом; г – раскосная с нисходящим раскосом; д – шпренгельная; е – крестовая; ж – перекрестная; з – ромбическая; к – полураскосная

10.2 Определение генеральных размеров ферм

Высоту ферм принимают с учетом минимизации расхода стали, обеспечения необходимой жесткости, возможности транспортировки укрупненными элементами.

Усилия в поясах балочных ферм возникают от изгибающего момента, а в решетке – от поперечной силы. Чем больше высота фермы, тем меньше усилия в поясах и масса. Масса решетки, наоборот, с увеличением высоты фермы возрастает, так как увеличивается длина раскосов и стоек. Следовательно, может быть найдена оптимальная высота фермы, при которой общая масса поясов и решетки будет наименьшей. Обычно с учетом требований транспортировки, монтажа, унификации, а также для уменьшения высоты и объема здания высоту ферм принимают в пределах $1/7$ - $1/12$ пролета (меньшие значения принимаются для легких ферм).

Фермы, перевозимые целиком по железной дороге, или их отправочные элементы по условиям провозного габарита не должны превышать по высоте 3,85 м между крайними точками выступающих элементов. В фермах трапецеидального очертания помимо высоты посередине пролета необходимо назначить высоту на опоре. Высота опорной стойки стропильных ферм зависит от высоты фермы в пролете и уклона кровли. Обычно при уклонах $1/12$ - $1/8$ она получается в пределах от $1/15$ до $1/10$ пролета, что конструктивно вполне приемлемо.

В треугольных фермах высота является функцией пролета и уклона кровли, которые зависят от материала кровли. Обычно треугольные фермы проектируют под кровли, требующие значительных уклонов (25° – 45°), что дает высоту ферм $h \approx (1/4 - 1/2)l$.

Размеры панели должны соответствовать расстояниям между элементами, передающими нагрузку на ферму, и отвечать оптимальному углу наклона раскосов. Оптимальный угол наклона раскосов в треугольной решетке составляет примерно 45° ; в раскосной решетке – 35° . Из конструктивных соображений – рационального очертания фасонки в узле и удобства прикрепления раскосов – желателен угол, близкий к 45° . При малых углах фасонки получаются слишком вытянутыми, при больших – высокими, что делает их громоздкими и неэкономичными.

Для исключения работы пояса на изгиб необходимо обеспечить передачу нагрузки от кровли только в узлы фермы. Поэтому в покрытиях из крупноразмерных железобетонных плит расстояние между узлами принимается равным ширине плиты (обычно 1,5 или 3,0 м), а в покрытиях по прогонам – шагу прогонов (обычно от 1,5 до 4,0 м). Иногда для уменьшения размеров панели пояса применяется шпренгельная решетка (см. Рис. 10.6, д).

Наименьшая возможная высота фермы определяется допустимым прогибом. Прогиб ферм можно компенсировать устройством строительного подъема, т.е. изготовлением ферм с обратным выгибом, который под воз-

действием нагрузки погашается и ферма приходит в проектное положение. Строительный подъем назначают согласно нормам равным прогибу от постоянной нагрузки плюс половина от временной нагрузки. При плоских кровлях и пролетах свыше 36 м строительный подъем следует принимать независимо от величины пролета равным прогибу от суммарной нормативной нагрузки плюс $1/200$ пролета.

Строительный подъем обеспечивается путем устройства перегиба в монтажных узлах фермы (Рис. 10.7).

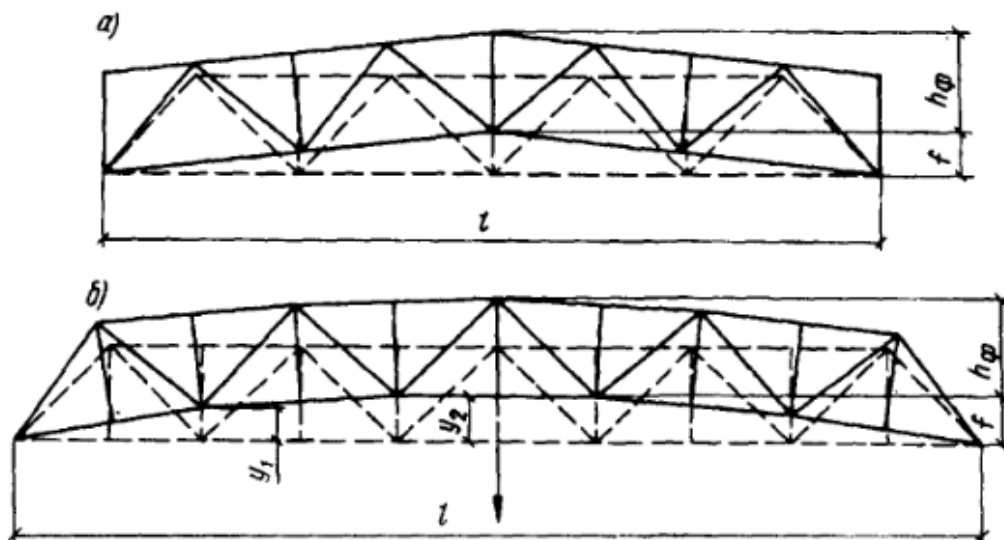


Рис. 10.7 Схемы строительного подъема при одном (а) и нескольких (б) укрупнительных стыках

10.3 Обеспечение устойчивости ферм

Плоская ферма неустойчива из своей плоскости. Чтобы придать ферме устойчивость, ее необходимо присоединить к какой-либо жесткой конструкции или соединить связями с другой фермой, в результате чего образуется пространственный устойчивый брус (Рис. 10.8). Для обеспечения устойчивости такого бруса (блока) необходимо, чтобы он был выполнен геометрически неизменяемым.

Грани блока (Рис. 10.8) образуются двумя вертикальными плоскостями спаренных ферм ($abb'a'$ и $dcc'd'$), двумя перпендикулярными им горизонтальными плоскостями связей, расположенными по обоим поясам ферм ($cbb's'$ и $daa'd'$) и не менее чем двумя вертикальными плоскостями поперечных связей (обычно в торцах ферм – $abcd$ и $a'b's'd'$). При большой длине блока необходима постановка также промежуточных вертикальных связей. Поскольку этот пространственный брус в поперечном сечении замкнут, он обладает большой жесткостью при кручении и изгибе в поперечном направлении, поэтому потеря его общей устойчивости невозможна.

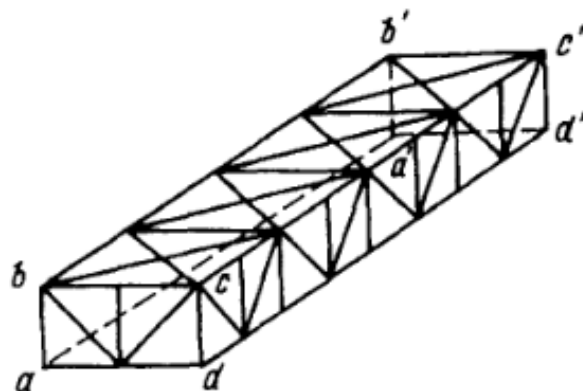


Рис. 10.8 Завязка ферм в пространственную систему
плоскость $a-b-c-d$ – вертикальная связь;
плоскость $d-c-c-d'$ – стропильная ферма

Фермы, связанные между собой только прогонами, не образуют неизменяемой системы; поэтому они имеют свободную длину из своей плоскости, равную пролету, и легко могут потерять устойчивость (Рис. 10.9, а).

Устойчивость ферм обеспечивается тем, что в конструкции покрытия создается несколько пространственных пространственных блоков из двух соседних ферм, скрепленных связями в плоскости верхнего и нижнего пояса и вертикальными поперечными связями (Рис. 11.8). К этим жестким блокам прочие фермы прикрепляются горизонтальными элементами, препятствующими горизонтальному перемещению поясов ферм и обеспечивающими их устойчивость (прогонами и распорками, расположенными в узлах ферм). Чтобы прогон мог закрепить узел фермы в горизонтальном направлении, он сам должен быть прикреплен к неподвижной точке – узлу горизонтальных связей.

Если прогон не прикреплен к диагоналям связей в месте их пересечения, то расстояние между закрепленными в горизонтальном направлении точками верхнего пояса фермы равно двум панелям (Рис. 10.9б). Это должно учитываться при подборе сечения верхнего пояса ферм.

Если по верхнему поясу уложены жесткие металлические или железобетонные панели, приваренные или закрепленные к поясу на болтах, то ширина этих панелей (как правило, равная расстоянию между узлами) и определяет расчетную длину пояса. Если в качестве кровельного покрытия используется профилированный настил, прикрепленный непосредственно к поясу, то пояс закреплен от потери устойчивости по всей длине.

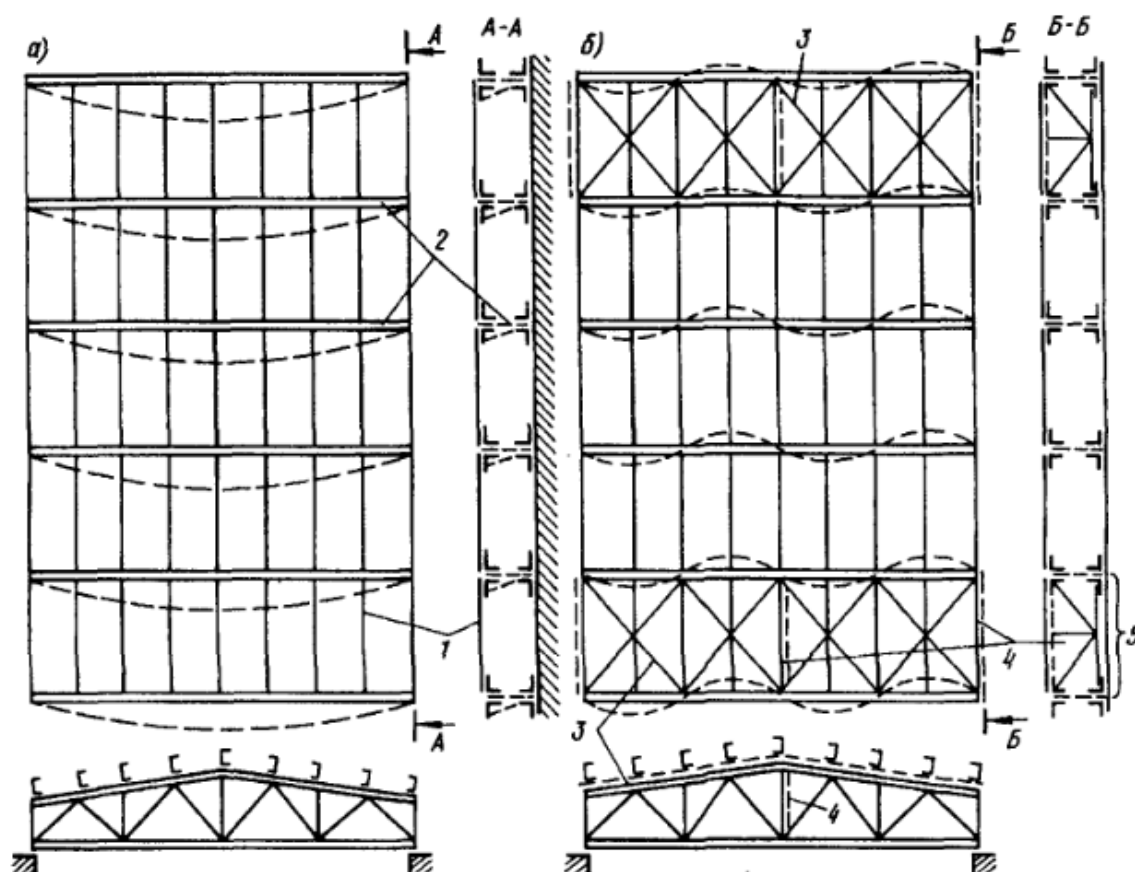


Рис. 10.9 Связи, обеспечивающие устойчивость стропильных ферм
 1 – прогоны; 2 – фермы; 3 – горизонтальные связи; 4 – вертикальные связи; 5 – пространственный блок

10.4 Типы сечений стержневых ферм

Наиболее распространенные типы сечений элементов легких ферм показаны на Рис. 10.10.

По расходу стали для сжатых стержней ферм наиболее эффективным является тонкостенное трубчатое сечение (Рис. 10.10, а). Круглая труба обладает наиболее благоприятным для сжатых элементов распределением материала относительно центра тяжести и при равной с другими профилями площади сечения имеет наибольший радиус инерции, одинаковый во всех направлениях, что позволяет получить стержень наименьшей гибкости. Однако конструктивные трудности сопряжения элементов из круглых труб ограничивают их применение.

Прямоугольные гнutoзамкнутые сечения, обладая почти теми же преимуществами, что и круглые трубы, позволяют упростить узлы сопряжения элементов. Фермы из гнutoсварных профилей с бесфасончными узлами требуют высокой точности изготовления и могут быть выполнены только при наличии специального оборудования.

Сечения легких ферм из двух уголков (Рис. 10.10, в – д) имеют большой диапазон площадей, удобны для конструирования узлов на фасонках и прикрепления примыкающих к фермам конструкций (прогонов, кровельных

панелей, связей). Недостатком являются значительный расход металла на фасонки и прокладки, высокая трудоемкость изготовления и наличие щели между уголками, что способствует коррозии. Кроме того стержни с сечением из двух уголков, составленных тавром, неэффективны при работе на сжатие.

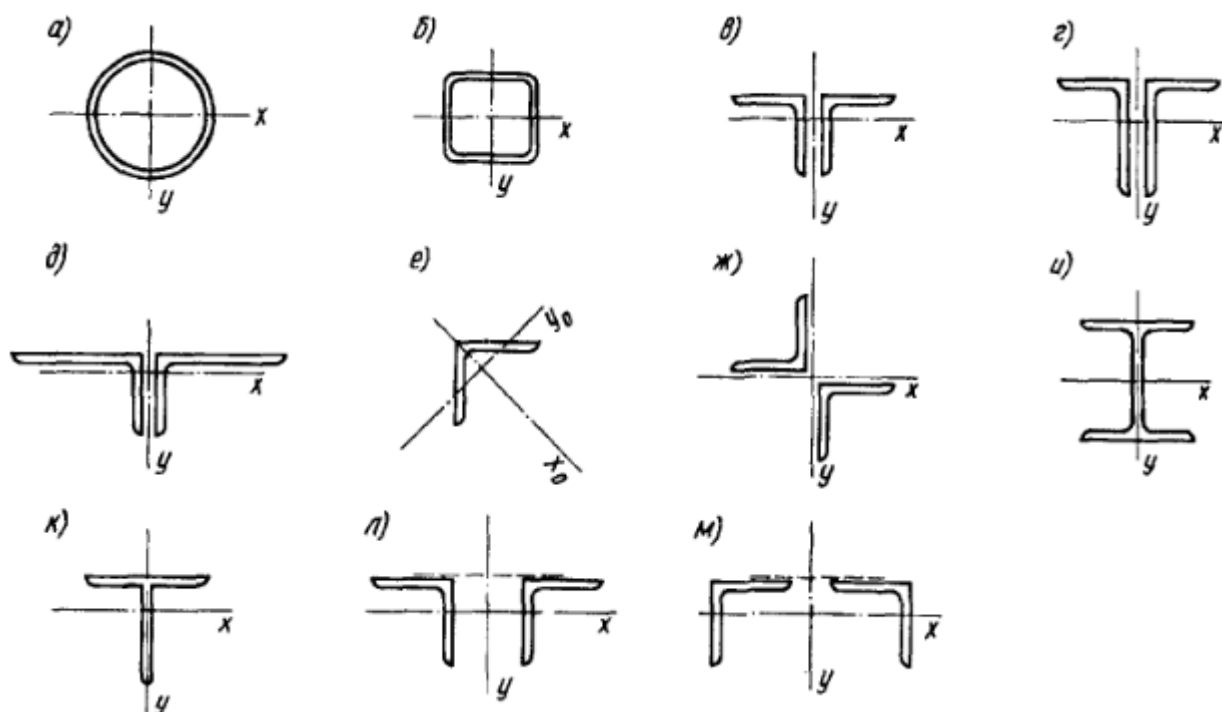


Рис. 10.10 Типы сечений стержней легких ферм

При относительно небольшом усилии стержни ферм можно выполнять из одиночных уголков (Рис. 10.10, е). Такое сечение проще в изготовлении, особенно при бесфасоночных узлах.

Если пояс ферм работает, помимо осевого усилия, и на изгиб (при внеузловой передаче нагрузки), рационально сечение из двутавра или двух швеллеров (Рис. 10.10, и).

Сжатые элементы ферм следует проектировать равноустойчивыми в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При одинаковых расчетных длинах $l_x = l_y$ этому условию отвечают сечения из круглых труб и квадратных гнутозамкнутых профилей, т.к. для них $i_x = i_y$ и, следовательно, $\lambda_x = l_x / i_x = \lambda_y = l_y / i_y$.

Стержни тяжелых ферм отличаются от легких более мощными и развитыми сечениями, составленными из нескольких элементов, что обусловлено их большими расчетными длинами и действующими в них расчетными усилиями. Сечения проектируют обычно двухстенчатыми (Рис. 10.11), а узловые сопряжения выполняют с помощью фасонки, расположенных в двух плоскостях. Стержни тяжелых ферм (как раскосы и стойки, так и пояса) имеют разные сечения, но для удобства сопряжения в узлах ширина элементов b должна быть одинаковой.

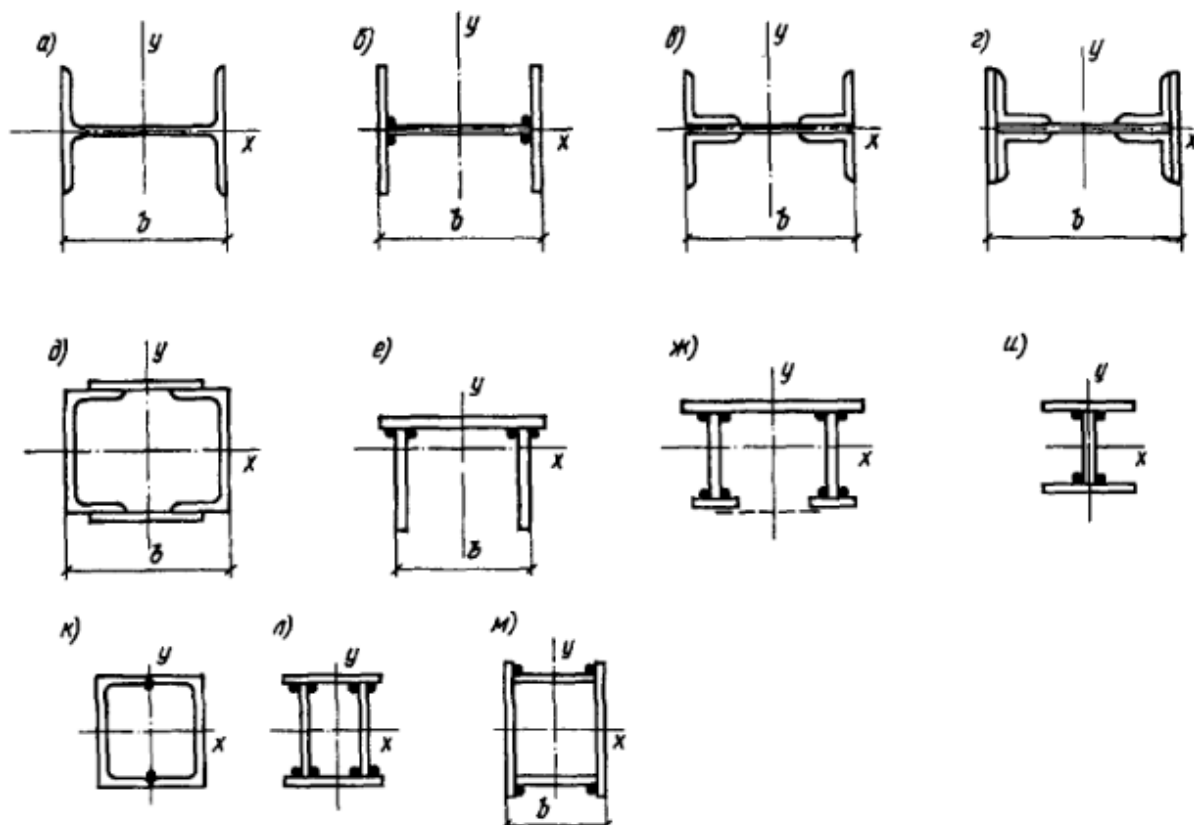


Рис. 10.11 Типы сечений стержней тяжелых ферм

10.5 Определение усилий

При расчете легких ферм предполагается, что в узлах системы – идеальные шарниры, оси всех стержней прямолинейны, расположены в одной плоскости и пересекаются в узле в одной точке (в центре узла, см. Рис. 10.12). Стержни такой идеальной системы при узловой нагрузке работают только на осевые усилия: напряжения, найденные по этим усилиям, являются основными. В связи с фактической жесткостью узловых соединений в стержнях ферм возникают дополнительные напряжения от узловых моментов, однако при отношении высоты сечения стержня и его длине $h/l \leq 1/10$ они малы и при расчете их обычно не учитывают. При большей жесткости стержня $h/l \geq 1/10$ влиянием моментов уже нельзя пренебречь, поскольку они приводят к более раннему развитию пластических деформаций, что снижает хрупкую прочность стали. В сооружениях, возводимых в районах с расчетной зимней температурой ниже -40°C , моменты от жесткости узлов следует учитывать при отношении $h/l \geq 1/15$.

Если оси стержней фермы не пересекаются в одной точке, то при расчете следует учесть узловой момент $M = (N_1 - N_2)e$ (Рис. 10.12).

Если на ферму действует внеузловая нагрузка, то напряжения от этого момента являются основными и ими нельзя пренебречь. Пояс фермы в этом случае можно рассматривать как неразрезную балку, опирающуюся на узлы фермы.

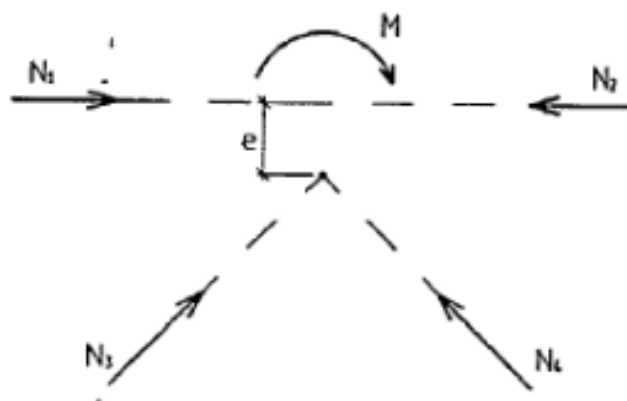


Рис. 10.12 Определение узловых моментов при расцентровке узлов

10.6 Подбор сечений элементов ферм

Из условия обеспечения качества сварки и повышения коррозионной стойкости толщину замкнутых профилей (труб, гнутосварных сечений) не следует принимать менее 3 мм, а для уголков – менее 5 мм. Для предотвращения повреждения стержней при транспортировке и монтаже не рекомендуется также применять профили размером менее 50 мм.

Профильный прокат поставляют длиной до 12 м. Для снижения трудоемкости изготовления в фермах пролетом до 24 м (включительно), состоящих из двух отправочных марок, пояса принимают постоянного сечения.

10.7 Общие требования к конструированию ферм с фасонками

Расстояние между краями элементов решетки и пояса в узлах сварных ферм с фасонками следует принимать не менее $a=(6t-20)$ мм, но не более 80 мм (здесь t – толщина фасонки, мм).

Между торцами стыкуемых элементов поясов ферм, перекрываемых накладками, следует оставлять зазор не менее 50 мм.

Фланговые сварные швы, прикрепляющие элементы решетки ферм к фасонкам, следует выводить на торец элемента на длину не менее 20 мм.

Толщину фасонки следует выбирать в зависимости от действующих усилий (Таблица 10.1).

Таблица 10.1

Рекомендуемые толщины фасонки

Максимальное усилие в стержнях решетки, кН	До 150	160 - 250	260 - 400	410 - 600	610 - 1000	1010 - 1400	1410 - 1800	Более 1800
Толщина фасонки, мм	6	8	10	12	14	16	18	20

При значительной разнице усилий в стержнях решетки можно принимать две толщины в пределах отправочного элемента. Допустимая разница толщин фасонки в смежных узлах равна 2 мм.

Размеры фасонки определяется по необходимой длине швов крепления элементов. Необходимо стремиться к простейшим очертаниям фасонки, чтобы упростить их изготовление и уменьшить количество обрезков.

10.8 Фермы из парных уголков

В фермах со стержнями из парных уголков, составленных тавром, узлы проектируют на фасонках, которые заводят между уголками. Стержни решетки прикрепляют фланговыми швами (Рис. 10.13). Усилие в элементе распределяется между швами по обушку и перу уголка обратно пропорционально их расстояниям до оси стержня.

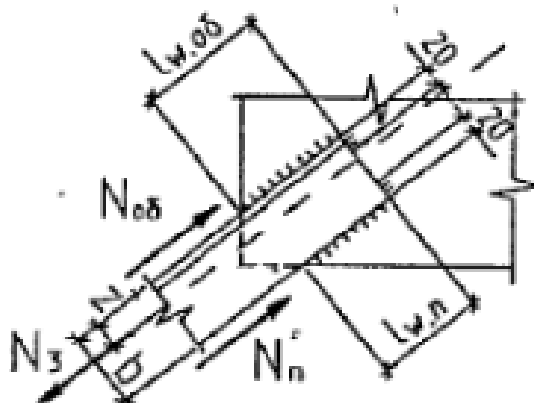


Рис. 10.13 Крепление раскоса к фасонке

Концы фланговых швов для снижения концентрации напряжений выводят на торцы стержня на 20 мм (Рис. 10.13). К поясу фасонки рекомендуется прикреплять сплошными швами минимальной толщины. Фасонки выпускают за обушки поясных уголков на 10...15 мм (Рис. 10.14). Швы, прикрепляющие фасонку к поясу, при отсутствии узловых нагрузок рассчитывают на разность усилий в смежных панелях пояса (Рис. 10.14) $N = N_2 - N_1$.

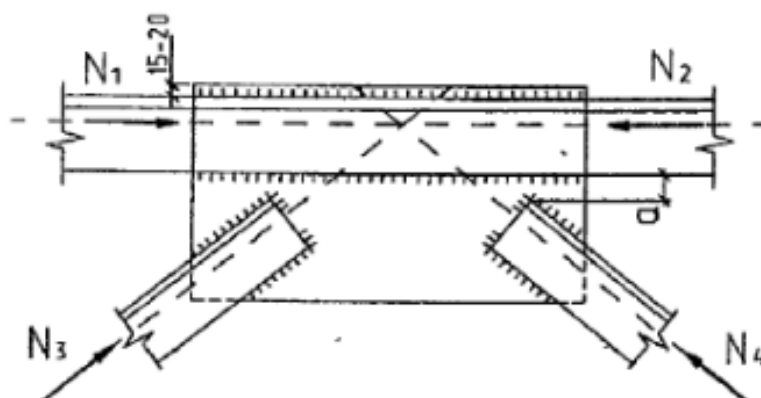


Рис. 10.14 Промежуточный узел

В месте опирания на верхний пояс прогонов или кровельных плит (Рис. 10.15) фасонки не доводят до обушков поясных уголков на 10...15 мм.

Чтобы прикрепить прогоны, к верхнему поясу фермы приваривают уголок с отверстиями для болтов (шпальный распределитель).

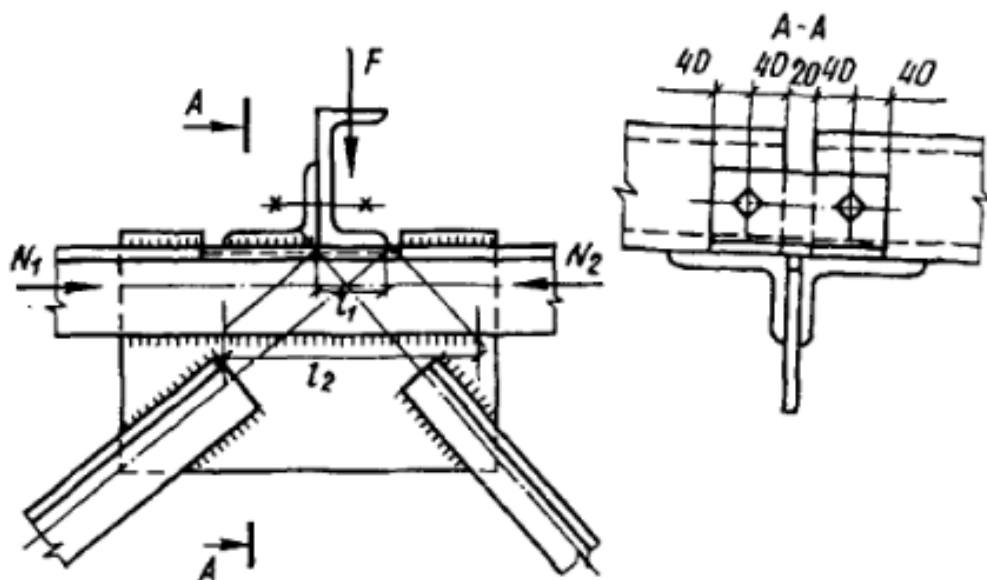


Рис. 10.15 Опираие прогонов

Если к узлу приложена сосредоточенная нагрузка (Рис. 10.15), то швы, прикрепляющие фасонку к поясу, рассчитывают на совместное действие продольного усилия (от разницы усилий в поясах) и сосредоточенной нагрузки.

Для обеспечения плавной передачи усилия и снижения концентрации напряжений угол между краем фасонки и элементом решетки должен быть не менее 15° .

Стыки поясов необходимо перекрывать накладками, выполненными из уголков или листов. Площадь сечения стыковых элементов должна быть не менее площади сечения стыкуемых элементов. Уголки, перекрывающие стыки пояса, принимаются того же калибра, что и поясные. Для того чтобы прикрепить угловую накладку, приходится срезать обушок и полку уголка. Уменьшение его площади компенсируется фасонкой.

Для облегчения работы фасонки стык пояса желательно вынести за пределы узла. Крепление накладок к поясным уголкам следует рассчитывать из условия равнопрочности на полное усилие, которое может выдерживать накладка.

Для обеспечения совместной работы уголков их соединяют прокладками. Расстояние между прокладками должно быть не более $40i$ для сжатых элементов и $80i$ для растянутых, где i - радиус инерции одного уголка относительно оси, параллельной прокладке. При этом в сжатом элементе ставится не менее двух прокладок. Если уголки не соединены прокладками, то при расчете каждый уголок рассматривают отдельно, а его гибкость определяют, исходя из минимального для одного уголка радиуса инерции i_{min} .

Конструкции опорных узлов ферм зависят от вида опор и способа соприкосновения (жесткое, шарнирное).

При шарнирном сопряжении наиболее простым является узел опирания фермы на колонну сверху с использованием дополнительной стойки (надколонника) (Рис. 10.16)

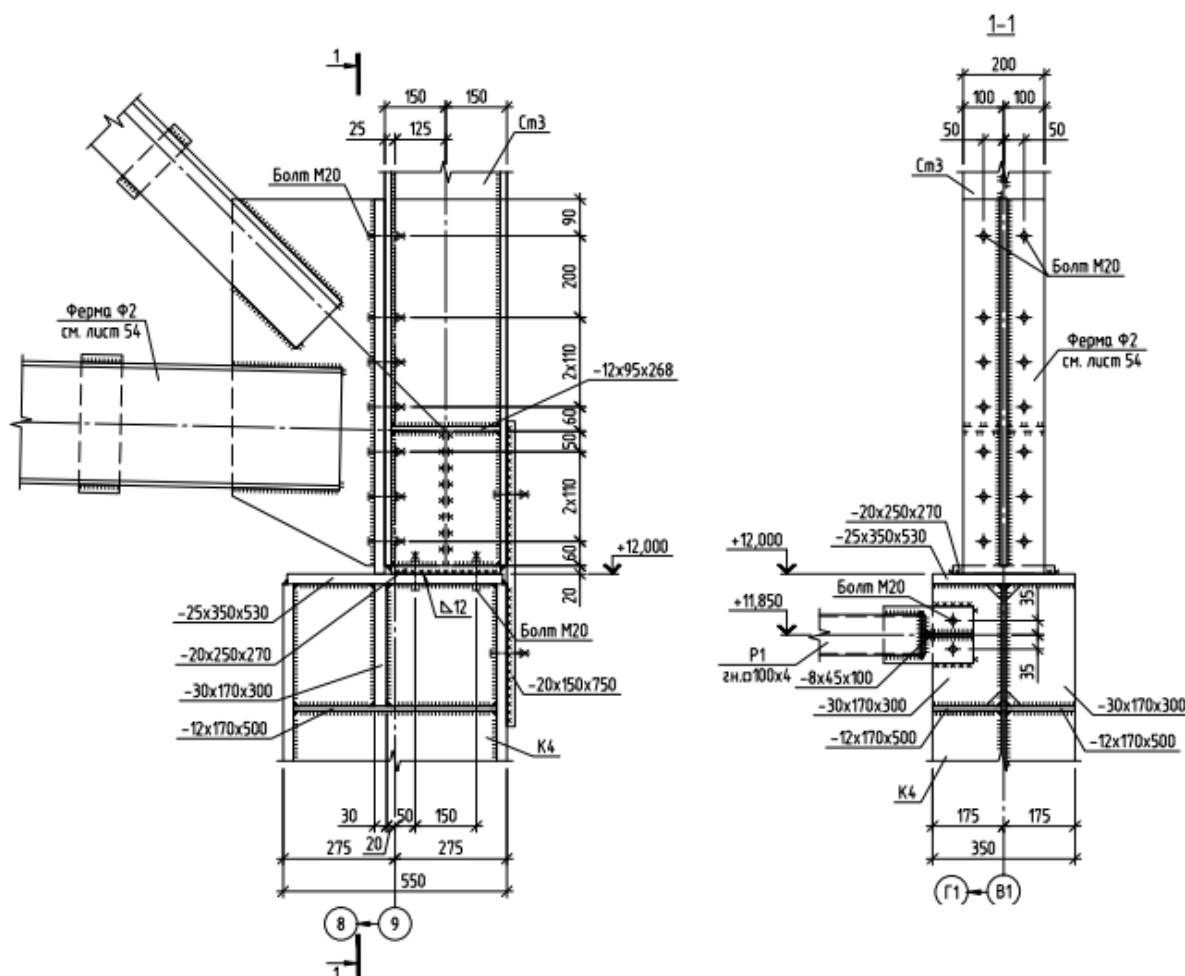


Рис. 10.16 Опирание фермы на колонну сверху

Опорное давление фермы передается с опорного фланца фермы через строганные или фрезерованные поверхности на опорную плиту колонны. Опорный фланец для четкости опирания выступает на 10...20 мм ниже фасонки опорного узла.

Верхний пояс фермы крепится конструктивно на болтах нормальной точности прикрепляют к фасонке надколонника.

При жестком узле сопряжения необходимо прикрепить ферму к колонне с боку. При жестком сопряжении в узле возникает помимо опорного давления момент. Передача этих усилий производится отдельно. Опорное давление передается на опорный столик. Опорный фланец прикрепляют к полке колонны на болтах нормальной точности, которые ставят в отверстия на 3...4 мм больше диаметра болтов, чтобы они не могли воспринять опорную реакцию фермы в случае неплотного опирания фланца на опорный столик.

Момент раскладывается на пару сил, которые передаются на верхний и нижний пояса фермы. Если опорный момент направлен против часовой

стрелки, то усилие прижимает фланец узла нижнего пояса к колонне. Болты ставят конструктивно (обычно 6...8 болтов диаметром 20...24 мм). Если в опорном узле возникает положительный момент, то усилие отрывает фланец от колонны и болты следует проверить на растяжение.

Пример оформления чертежей ферм из парных уголков приведены в приложении 1.

10.9 Фермы из гнутосварных замкнутых профилей

Фермы из гнутосварных замкнутых профилей проектируются с бесфасоночными узлами. Толщину стенок стержней ферм не следует принимать менее 3 мм.

Ширину стержней решетки b_p (из плоскости конструкции) желательно принимать возможно большей, но не более величины $B = 2(t_n + t_d)$ из условия наложения продольных сварных швов и не менее 0,6 поперечного размера B для предотвращения продавливания пояса.

Углы примыкания раскосов к поясу должны быть не менее 30° для обеспечения плотности участка сварного шва со стороны острого угла. Следует избегать пересечения стержней решетки в узлах во избежание двойной резки концов стержней.

Для свободного размещения стержней решетки на уровне грани пояса иногда приходится нарушать центрацию элементов (Рис. 10.17).

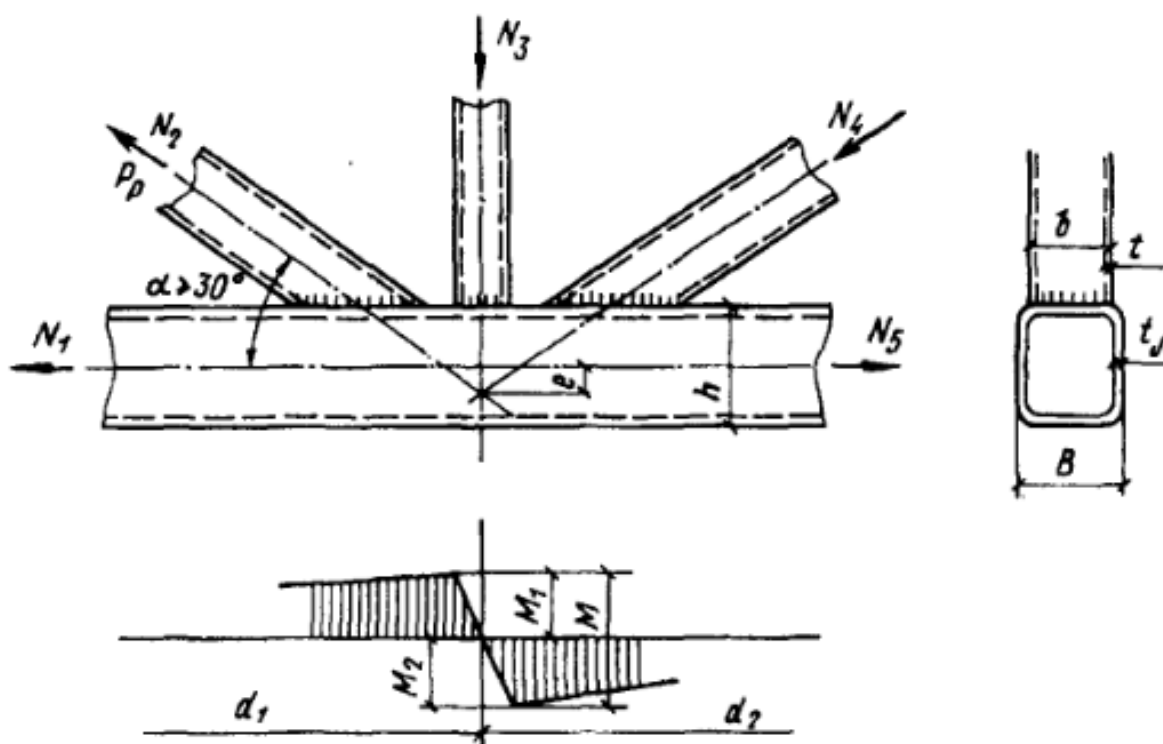


Рис. 10.17 Узел с расцентровкой осей стержней

Если эксцентриситет $e > 0,025h_n$, то при расчете следует учитывать узловой момент $M = (N_2 - N_1)e$. Гибкость стержней решетки в плоскости

фермы значительно больше гибкости пояса, поэтому узловой момент воспринимается в основном поясом.

Для сжатых элементов должна быть проверена местная устойчивость стенки, как для коробчатого профиля.

В узлах ферм помимо расчета сварных швов необходимо проверить также стенку пояса на продавливание (вырывание) в местах крепления решетки, а боковые грани пояса на выпучивание.

Сварные швы, прикрепляющие стержни решетки к поясам, рассчитываются как стыковые, при этом зазор из условия удобства наложения швов должен быть не меньше 10...20 мм.

Заводские стыки поясов проще всего выполнять сваркой встык на остающейся подкладке. Для монтажных стыков лучше всего использовать фланцевые соединения на болтах. При этом в стыках сжатого пояса можно применять обычные болты, а для растянутого использовать высокопрочные с предварительным натяжением. Усилие предварительного натяжения болтов должно быть на 10% больше усилия в стыке при расчетных нагрузках. Это необходимо для предотвращения раскрытия стыка и образования зазора.

Для фланцев необходимо применять качественные стали с гарантированными механическими свойствами в направлении толщины проката (см. п. 6.7).

11. Связи по каркасу

В каркасе промышленного здания различают два основных вида связей: связи по покрытию и вертикальные связи между колоннами.

Связи по покрытию делятся на:

- поперечные связи по верхним поясам ферм;
- вертикальные связи между фермами;
- продольные и поперечные связи, расположенные в плоскости нижних поясов ферм.

11.1 Поперечные связи по верхним поясам ферм

Верхний пояс фермы, как любой сжатый стержень, может потерять устойчивость. Потеря устойчивости в таком случае произойдет в одной из двух плоскостей:

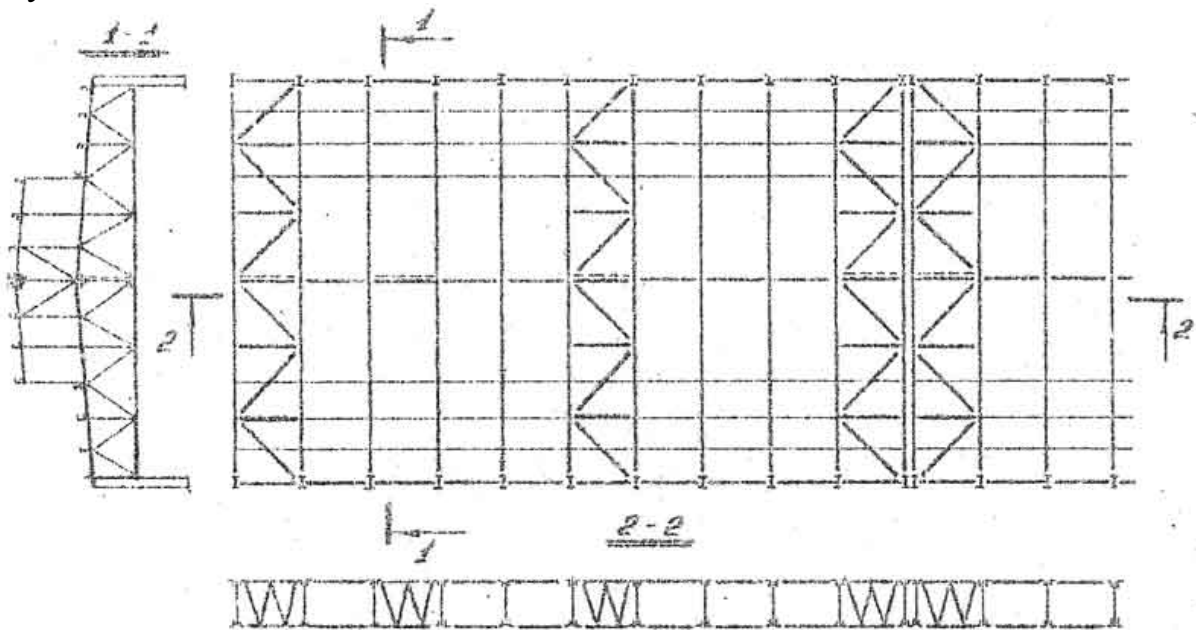


Рис. 11.1 Поперечные связи между верхними поясами ферм

а) в плоскости фермы - стержень, потерявший устойчивость, останется в плоскости фермы. Расчетная длина при проверке устойчивости верхнего пояса "в плоскости" фермы соответствует расстоянию - между узлами, то есть длине одной панели (см. Рис. 11.2);

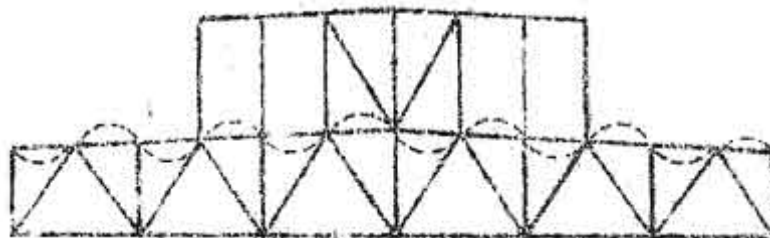


Рис. 11.2 Расчетная длина верхнего пояса в плоскости фермы (пунктир)

б) потери устойчивости верхнего пояса с выходом его из плоскости фермы (Рис. 11.3). Если связей нет, потеря устойчивости произойдет по схеме, приведенной на Рис. 11.3, а. Прогоны, которые обычно крепятся к

верхнему, поясу фермы шарнирно (с помощью болтов), сами по себе, без связей, не будут препятствовать потере устойчивости ферм, так как после потери устойчивости верхние пояса ферм выпучатся, а прогоны свободно переместятся в новое положение. При этом расстояние между фермами (пролет прогонов) сохранится.

Иная картина потери устойчивости будет наблюдаться, если поставить связи. Связи могут быть крестовые - с двумя диагоналями (Рис. 11.3, б) и треугольные (Рис. 11.3, в), т.е. с одной диагональю. Сжатые диагонали, очевидно, выключаются из работы, потеряв устойчивость, а растянутые будут препятствовать искажению прямоугольников, не дадут им превратиться в параллелограммы. В таком случае, расчетная длина верхнего пояса "из плоскости" будет равна двум панелям фермы.

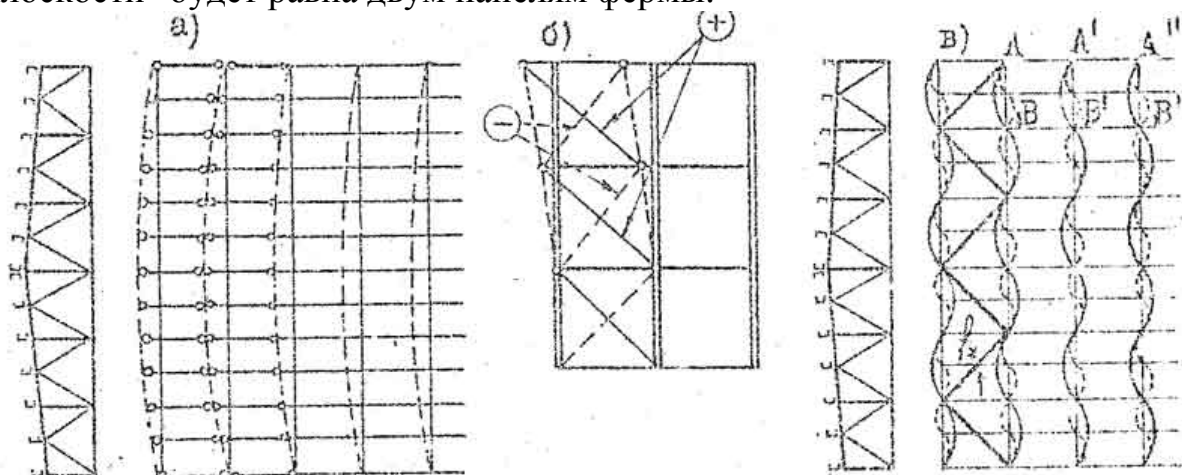


Рис. 11.3 Потеря устойчивости верхних поясов ферм

а - в покрытии без связей; б - схема натяжения и выключения раскосов связей; в - обеспечение устойчивости поясов с помощью стержневых связей

В зданиях с фонарем (Рис. 11.4) верхний пояс не раскреплен из плоскости фермы на большом участке, т.к. под фонарем нет прогонов. Если считать, что конструкция стенового ограждения фонаря вместе с прогоном фиксируют точку "Б", то расчётная длина верхнего пояса из плоскости составит "Б~Б". Введение распорки в середине пролета фонаря уменьшает расчетную длину из плоскости фермы (Рис. 11.4, б) до трех панелей.

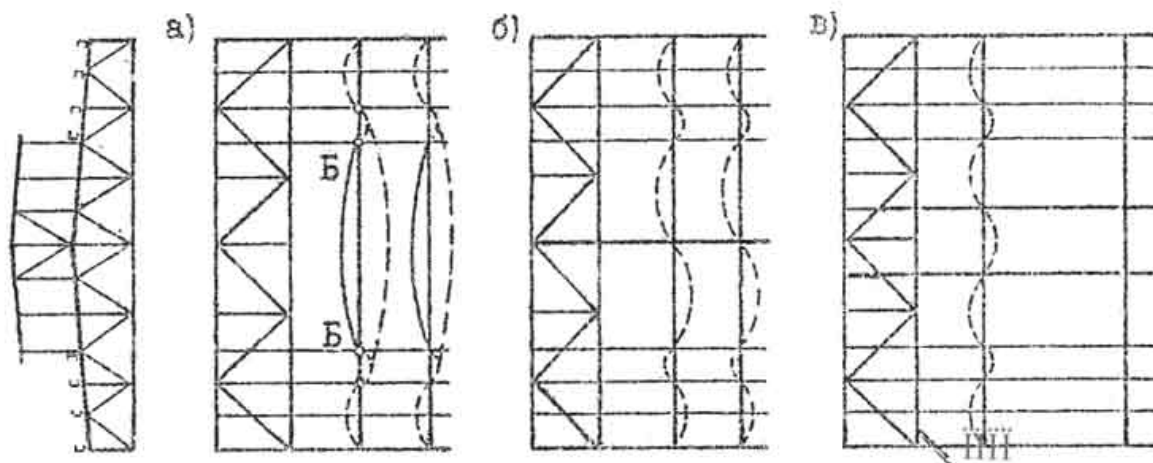


Рис. 11.4 Расчетные длины верхнего пояса под фонарем
а - без распорок - 6 панелей; б - с одной распоркой - 3 панели;
в - при шаге ферм 12 м вводится промежуточный связевой пояс ПП

В качестве распорки используется верхний пояс вертикальных связей, но могут быть применены специально предназначенные для этой цели парные уголки или другие профили.

В последнее время с целью экономии металла принято функции связей по верхним поясам возлагать на кровельный настил, который при его надежном креплении к фермам может обеспечивать устойчивость верхних поясов из плоскости ферм.

Так в беспрогонных покрытиях со сплошным настилом устойчивость верхних поясов из плоскости ферм обеспечивается креплением настила к верхним поясам. В таком случае расчетная длина верхнего пояса из плоскости фермы может быть принята равной длине одной панели фермы.

Во время возведения здания эти крепления плит к поясам должны контролироваться. При этом требуется составлять акт на скрытые работы. Профилированный настил может также играть роль связей по верхним поясам, если его прикрепить с помощью самонарезающих болтов к прогонам.

Лучшим конструктивным решением при использовании профилированного настила в качестве связей будет такое, при котором прогоны крепятся к ферме так, что верхняя полка прогона находится в одном уровне с верхней полкой пояса фермы. В этом случае настил прикручивается болтами по четырем своим сторонам - к прогонам и верхним поясам ферм. Для удобства крепления прогонов к фермам в этом случае можно использовать фермы покрытия не с треугольной решеткой, а с нисходящими раскосами (Рис. 11.5, а).

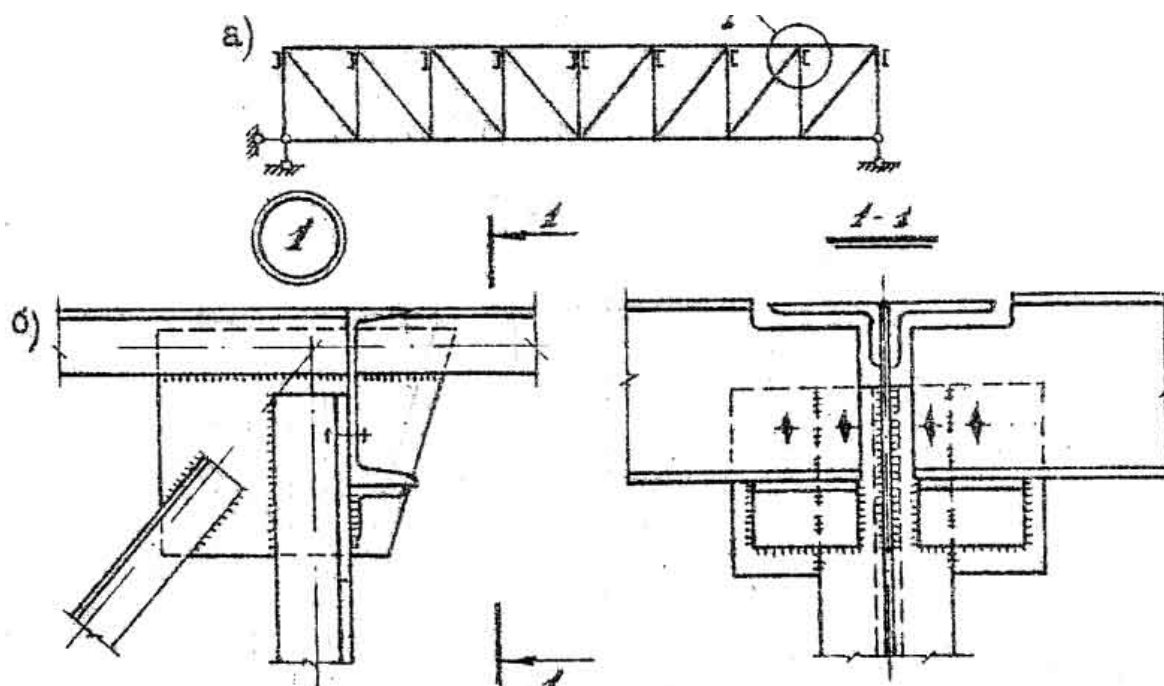


Рис. 11.5 Использование профилированного настила в качестве связей по верхнему поясу

а - ферма покрытия с нисходящими раскосами; б - вариант решения узла опирания прогона в одном уровне с верхним поясом фермы

При экономических преимуществах замены связей настилом, прикрепленным к поясам, покрытия оказываются лишенными одной немаловажной функции, выполняемой связями. Связи по верхним поясам кроме того, что обеспечивают устойчивость ферм, являются также фиксаторами правильного взаимного положения ферм во время монтажа. Поэтому при монтаже покрытия без связей рекомендуется предусматривать использование временных (съемных) инвентарных связей, т.е. монтажных кондукторов.

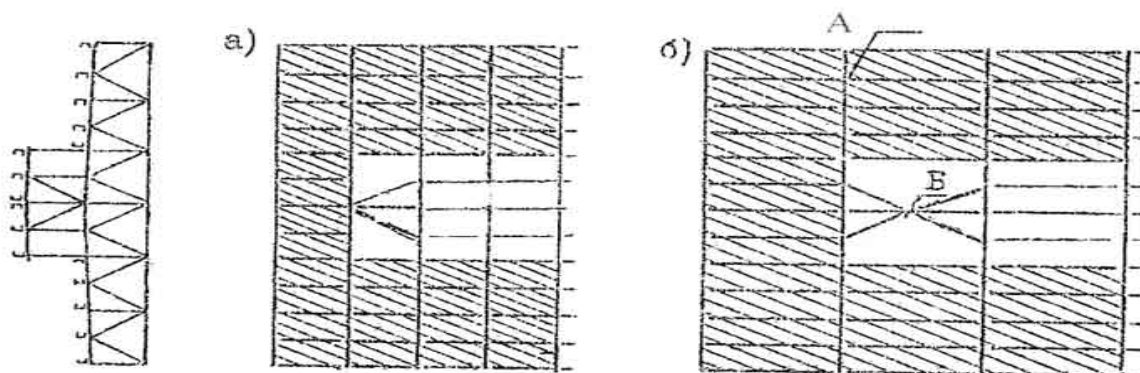


Рис. 11.6 Обеспечение устойчивости верхних поясов ферм под фонарями в покрытиях, где функции связей выполняет настил

а - при шаге ферм 6 м; б - при шаге ферм 12 м

В покрытиях с шагом ферм 12 м и с прогонами пролетом 12 м связевая ферма принимается шириной 6 м. В этом случае вводится дополнитель-

ный промежуточный пояс из соответствующих профилей и конструируются связи так же, как, если бы шаг ферм был 6 м.

11.2 Вертикальные связи между фермами

Эти связи называют также монтажными, так как их главное назначение - удерживать в проектном положении поставленные на опоры фермы, не дать одиночным фермам опрокинуться во время монтажа от ветровых и случайных воздействий, т.к. центр тяжести фермы находится выше уровня, опор (Рис. 11.9, а).

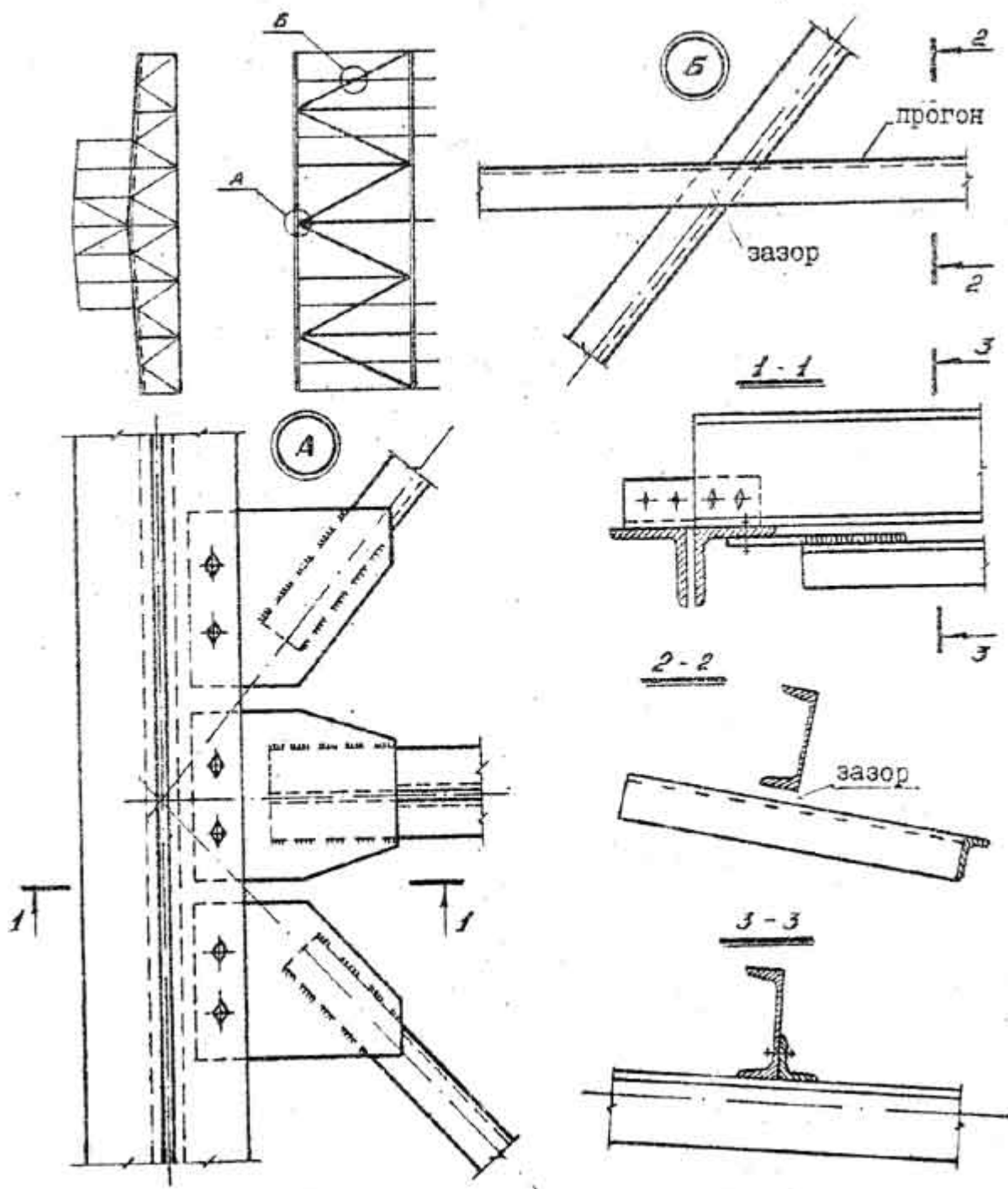


Рис. 11.7 Прикрепление связей к верхним поясам ферм

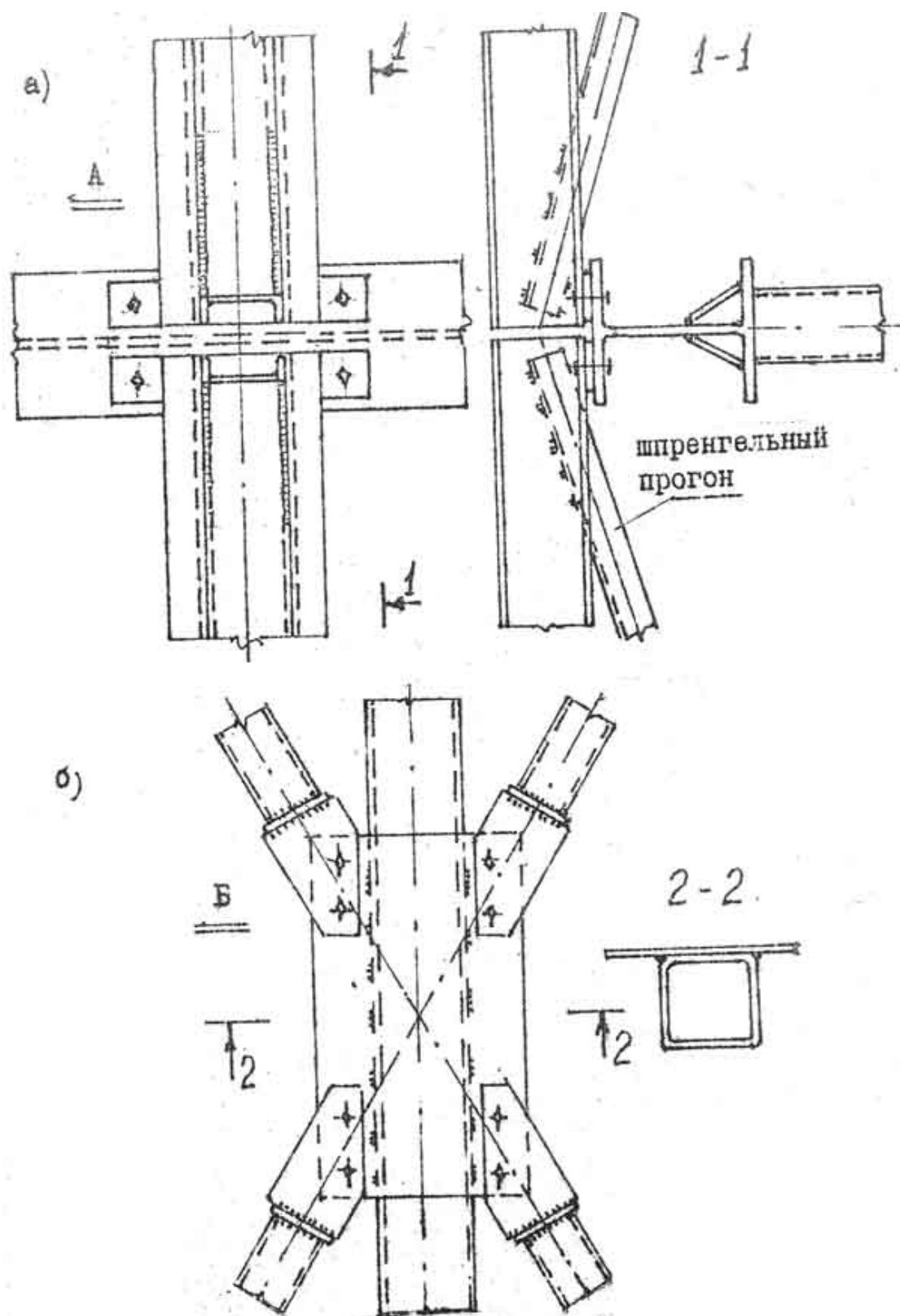


Рис. 11.8 Узлы покрытия и связей при шаге ферм 12 м (Рис. 11.6)
а - прикрепление связей, выполненных из замкнутых профилей к фермам с поясами из широкополочных двутавров
б) Узел Б

Вертикальные связи в виде цепочки распорок и ферм ставят по длине здания между стойками стропильных ферм. Связевые фермы для экономии металла соединяют между собой верхними и нижними распорками (Рис. 11.10). Таким образом, фермы вертикальных связей являются дисками, а прикрепленные к ним стержни-распорки обеспечивают промежуточные стропильные фермы или ригели рам от опрокидывания (Рис. 11.9, б). Решетка связевых ферм, как правило, может быть произвольной (Рис. 11.9, в) и выполняется из одиночных уголков или из прямоугольных гнуто-сварных труб. В покрытиях с шагом ферм 12 м, со шпренгельными прогонами или с настилом, усиленным шпренгелями, верхний пояс фермы вертикальных связей может иметь вид, показанный на Рис. 11.9, г.

Вертикальные связи по ширине пролета располагаются на опорах (между колоннами) и в пролете между стойками ферм не реже, чем через 15м, т.е. при пролете здания 36м они будут расположены в плоскостях двух стоек.

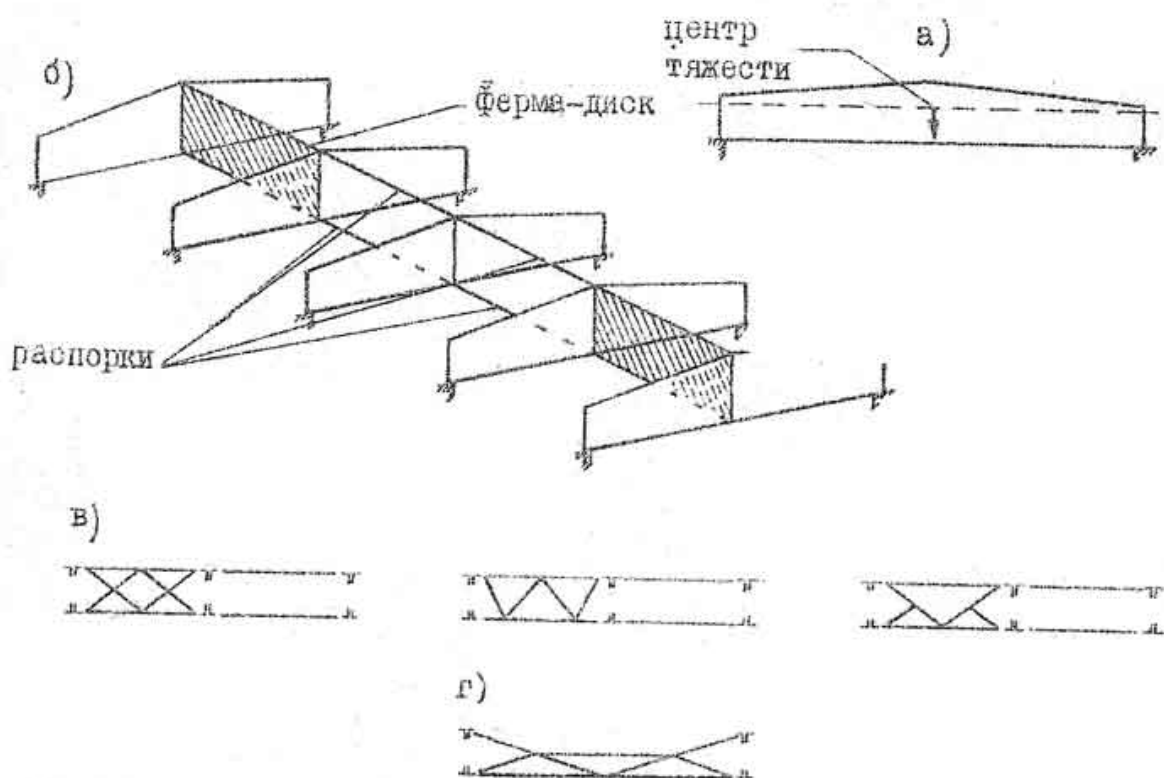


Рис. 11.9 Вертикальные связи между фермами
а - положение центра тяжести фермы; б - фермы-диски и распорки;
в - схемы решеток вертикальных связей; г - решетка связи при шаге
ферм 12 м

Диски вертикальных связей ставятся с шагом 30-36 м по длине здания. Стойки уголковых ферм, к которым крепятся связи в верхнем и нижнем узлах, принимаются крестового сечения (Рис. 11.10).

Связи могут прикрепляться также к специально предусмотренным для этой цели вертикальным фасонкам. В составе блока при крупноблочном

монтаже вертикальные связи являются необходимыми элементами, обеспечивающими неизменяемость блока.

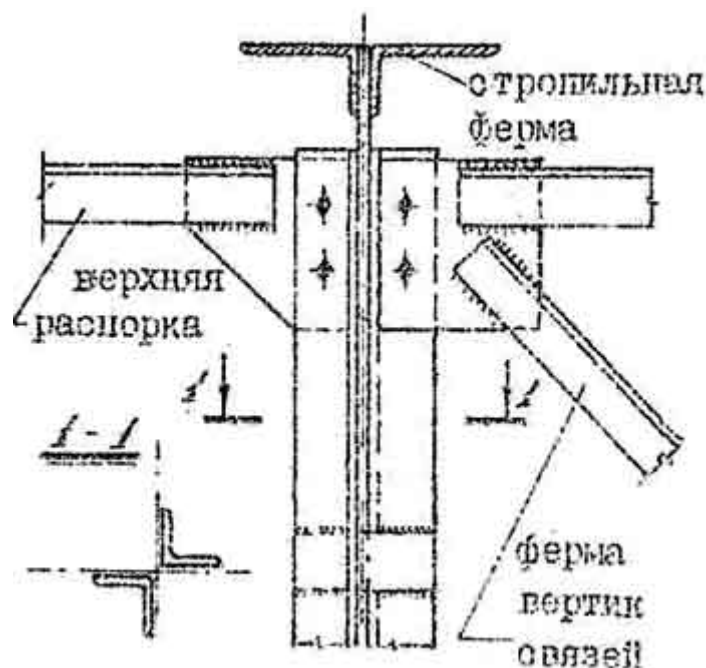


Рис. 11.10 Узел прикрепления верхнего пояса фермы вертикальных связей к стойке стропильной фермы.

11.3 Продольные горизонтальные связи по нижним поясам ферм

Контур связей, расположенных в плоскости нижних сквозных ригелей, можно расчленить на продольные и поперечные связи (Рис. 11.11).

Продольные связи по нижним поясам ферм воспринимают поперечные горизонтальные крановые воздействия. Внецентренное приложение вертикального давления крана на колонну, вызывающее горизонтальное смещение рамы, а также поперечное торможение крана, приложенное к одной раме (Рис. 11.11, а) и передают эти воздействия на соседние рамы, менее нагруженные (Рис. 11.11, б). Таким образом, обеспечивается пространственная работа каркаса на местные воздействия, вызывающие горизонтальные смещения ригеля рамы.

Боковая нагрузка от ветра передается одинаково на все рамы, вызывая одинаковое смещение их. Поперечных сил между рамами в этом случае не возникает и поэтому в каркасах при отсутствии стоек фахверка продольные связи не воспринимают ветровой нагрузки.

При шаге колонн 12 м и более в каркасах, имеющих стойки фахверка (стенового каркаса), продольные связи работают на эту нагрузку. Они являются верхними горизонтальными опорами стоек фахверка. Таким образом, в этом случае продольные связи передают усилия от ветровых нагрузок со стоек фахверка на соседние рамы (Рис. 11.13) и связи нагружены усилиями от ветровой нагрузки по длине шага рам.

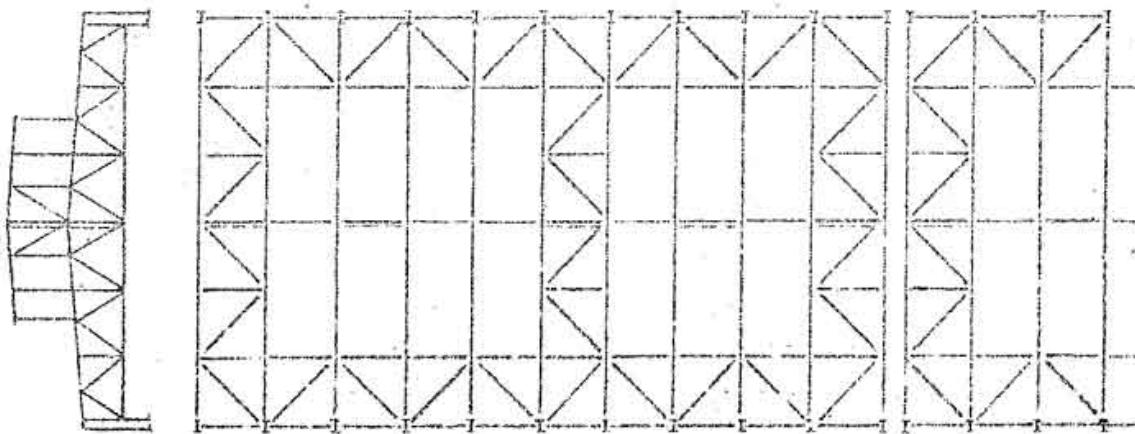


Рис. 11.11 Связи по нижним поясам ригелей рам

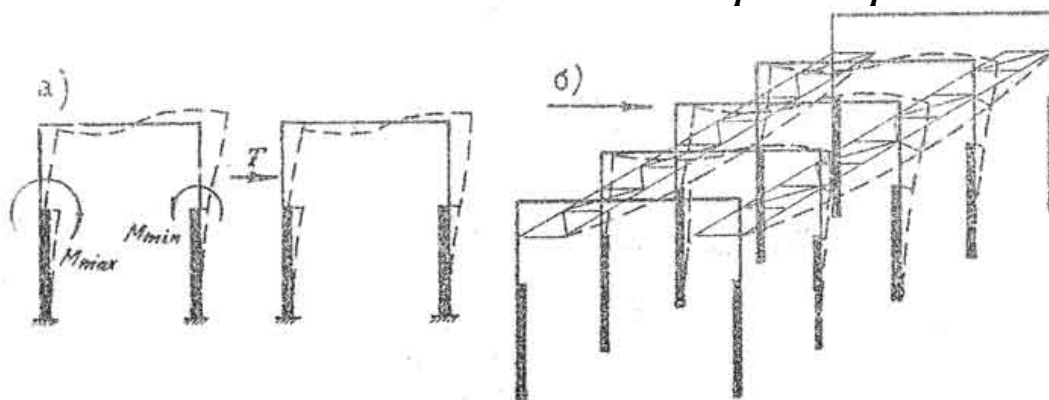


Рис. 11.12 Схема работы горизонтальных связей по нижним поясам
а - смещение рам от вертикальных внецентренных крановых нагрузок и
от торможения; б - передача поперечных нагрузок на связи

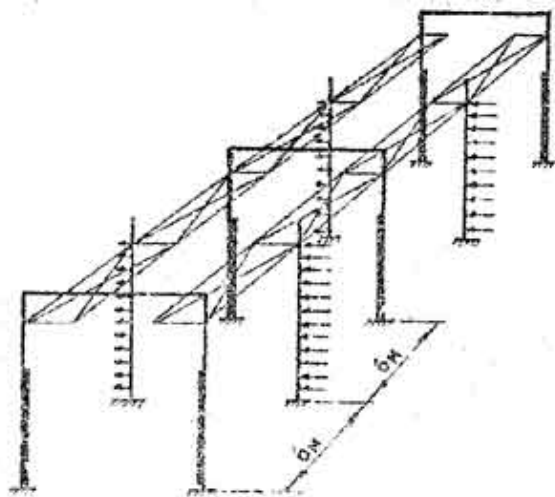


Рис. 11.13 Передача ветровой нагрузки со стоек фахверка на продольные связи

В крайних, панелях ригеля вследствие того, что жестко защемленный ригель на опоре испытывает изгибающие моменты противоположного знака по отношению к знаку момента в пролете, дается сжатие нижнего пояса (Рис. 11.14).

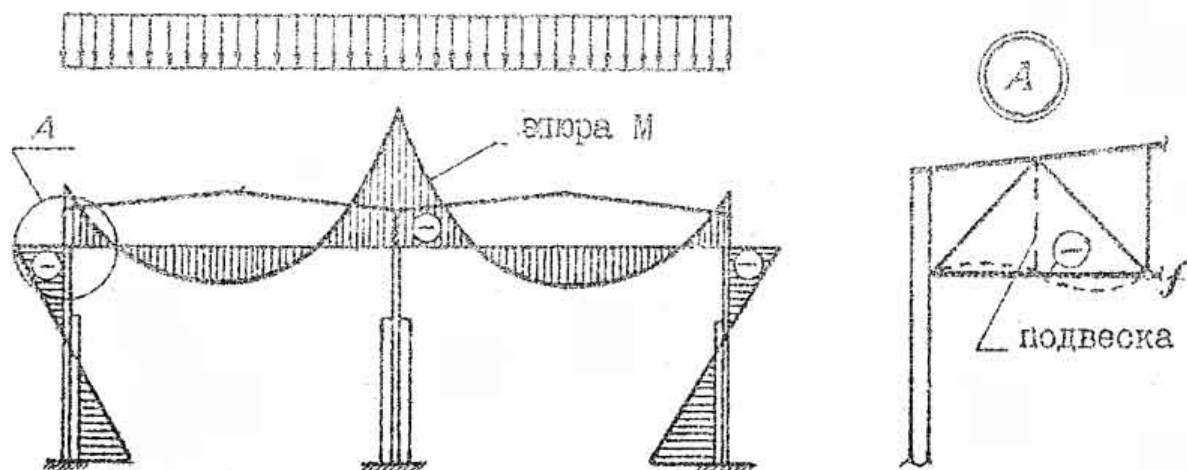


Рис. 11.14 Сжатие в нижнем поясе ригеля вблизи опор

Закрепить нижний пояс от потери устойчивости из плоскости ригеля здесь можно лишь с помощью продольных связей (точка "Г" Рис. 11.14). Устойчивость нижнего пояса в плоскости ригеля обеспечивается либо развитием момента инерции сечения пояса (в этой панели он может быть принят из двух неравнобоких уголков, составленных большими полками), либо введением дополнительной подвески.

В многопролетных зданиях с кранами среднего режима работы при грузоподъемности до 50т, при пролетах не более 36м и с высотой до 25м, а также с шагом рам 6м, допускается не делать продольных связей по нижнему поясу. Однако распорки и тяжи, обеспечивающие устойчивость нижних поясов из плоскости ферм, должны быть поставлены в каждом пролете (Рис. 11.15).

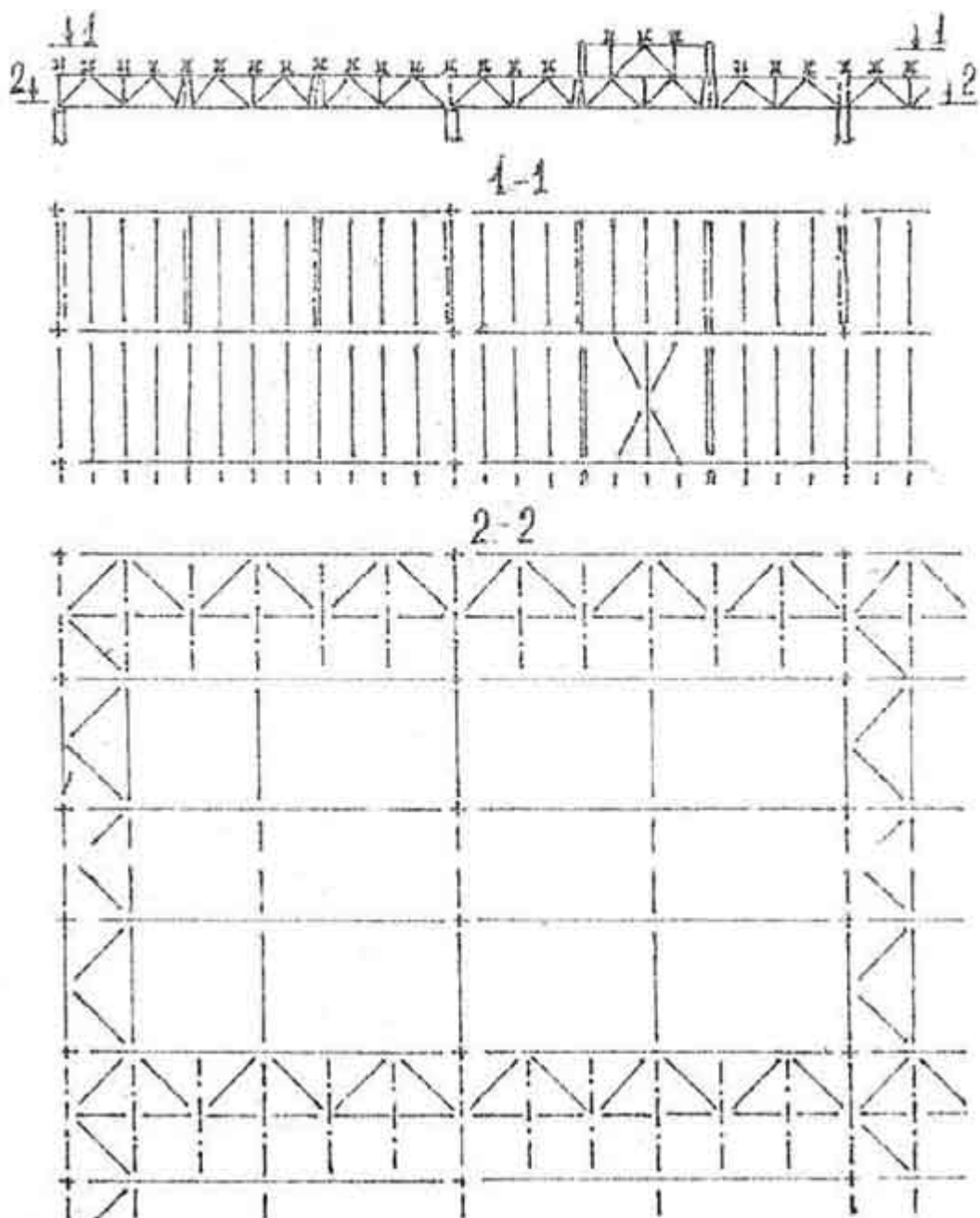


Рис. 11.15 Связи по нижним поясам каркаса с кранами среднего режима работы (4К - 6К)

11.4 Поперечные связи в плоскости нижних поясов ферм

Эти связи служат для передачи усилий от ветровых нагрузок, направленных в торец здания, со стоек торцевого фахверка на вертикальные связи между колоннами (Рис. 11.16) (передача давления показана стрелками).

Вместе с продольными связями они образуют замкнутый контур, увеличивающий общую жесткость каркаса здания.

Поперечные связи, как правило, ставятся под связями по верхним поясам, создавая с ними пространственные поперечные блоки, к которым с

помощью прогонов, распорок вертикальных связей и продольных связей крепятся промежуточные фермы.

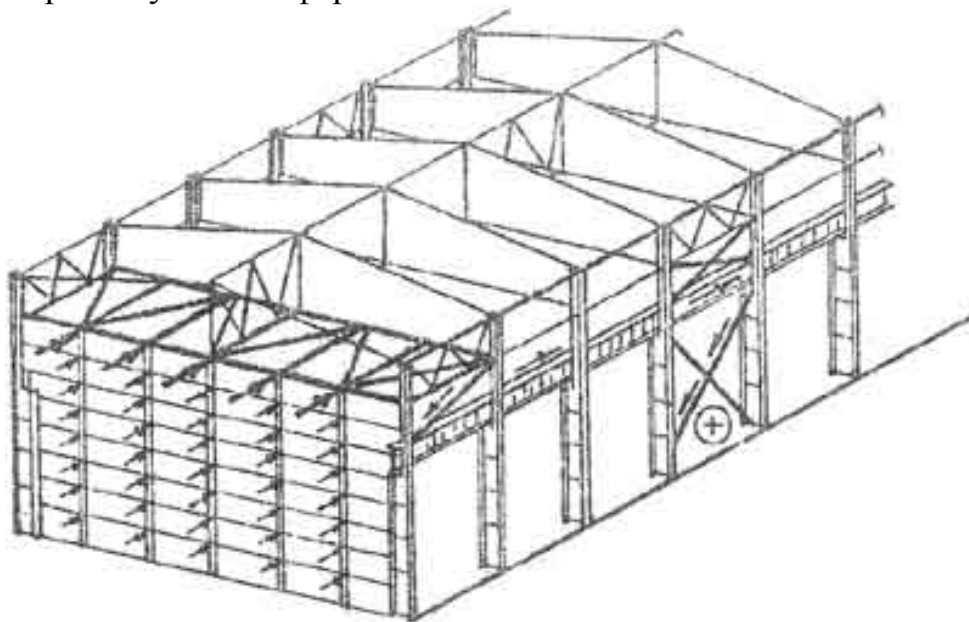


Рис. 11.16 *Схема передачи ветровых нагрузок с торца здания на связи*

На Рис. 11.17, 11.18 показаны узлы крепления горизонтальных связей, выполненных из уголков и замкнутых гнутосварных профилей к поясам ферм.

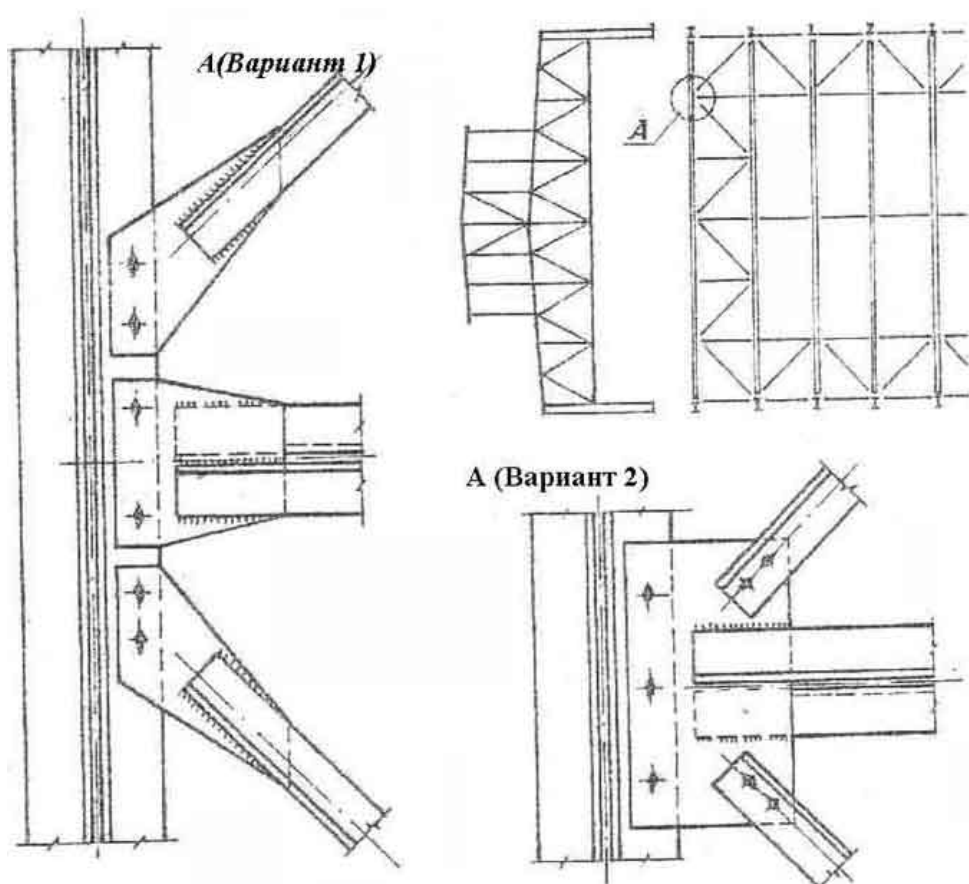


Рис. 11.18 *Конструкции связей из уголков по нижним поясам ферм*

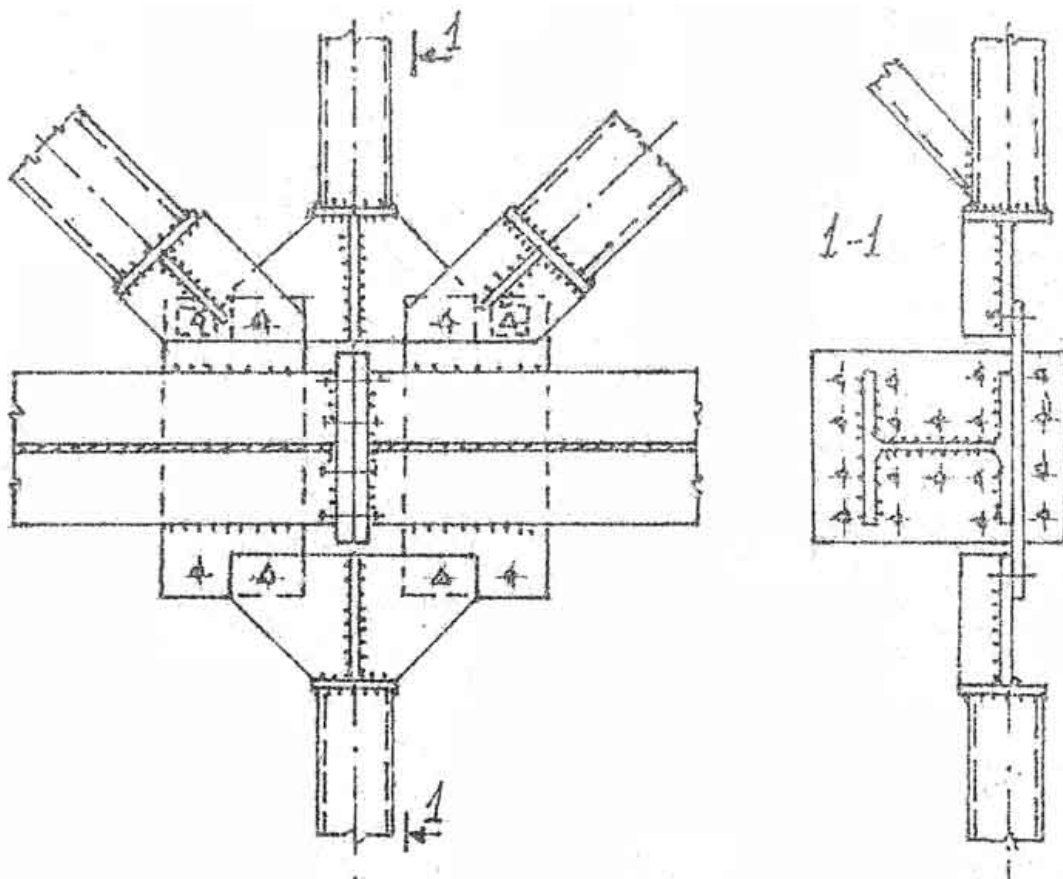


Рис. 11.19 Узел связей по нижнему поясу из прямоугольных гнуто-сварных профилей

11.5 Вертикальные связи между колоннами

Различают верхний ярус вертикальных связей между колоннами (связи, расположенные выше подкрановых балок) и нижний ярус ниже балок (Рис. 11.19).

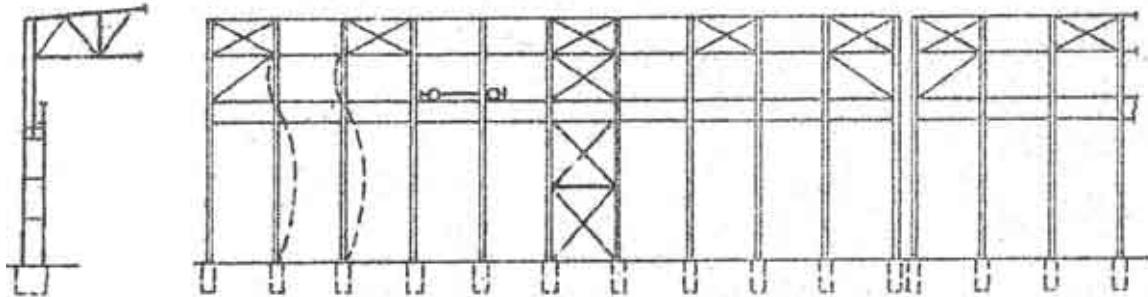


Рис. 11.20 Схема вертикальных связей между колоннами

Связи верхнего яруса имеют следующее назначение:

- усилия от ветра, направленного в торец здания, передаются на связи верхнего яруса с торцевых поперечных связей, расположенных в плоскости нижних поясов, а затем, по растянутым подкосам, эти усилия передаются на подкрановые балки;
- связи верхнего яруса обеспечивают - устойчивость колонн "из плоскости" рам. Таким образом, расчётная длина надкрановой

части колонны (Рис. 11.19, пунктир) из плоскости рамы равна высоте этой части колонны;

На связи нижнего яруса возлагается функции:

- передавать ветровые усилия от связей верхнего яруса и от продольного торможения кранов (Рис. 11.19);
- обеспечивать устойчивость подкрановой части колонны из плоскости рамы;
- служить в качестве монтажных связей при установке колонн. В зданиях большой высоты связи нижнего яруса имеют дополнительную распорку между колоннами (Рис. 11.20 а). Ее назначение уменьшить расчетную длину подкрановой части колонны из плоскости рамы. К этому компоновочному приему прибегают в том случае, когда расчет устойчивости колонны "из плоскости" не дает удовлетворительных результатов вследствие большой гибкости колонны из плоскости рамы.

Схемы вертикальных связей могут быть различными в зависимости от шага колонн, от необходимости использования проема между колоннами и т.п. (Рис 11.20 б).

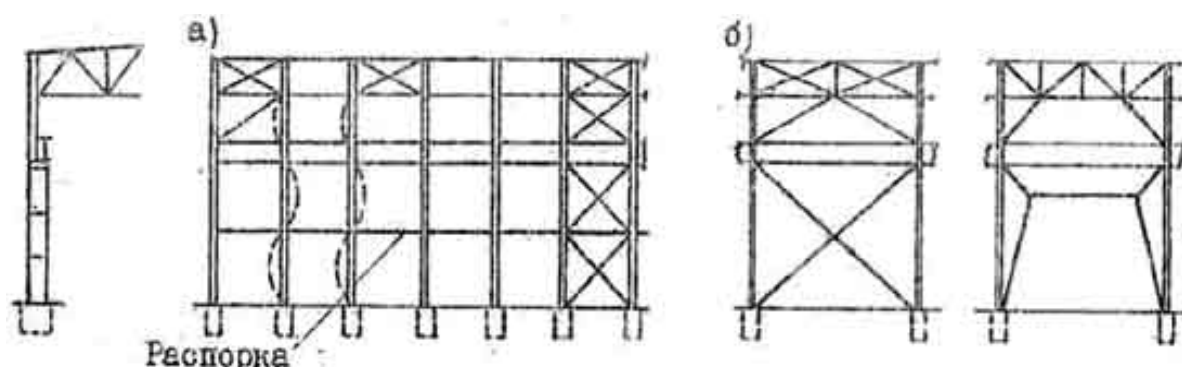


Рис. 11.21 Схемы вертикальных связей нижнего яруса

а) дополнительная распорка для уменьшения расчетной длины колонны из плоскости рамы; б) варианты связей между колоннами

Прикреплять связи нижнего яруса к подкрановым балкам в пролете не следует, так как при движении крана может возникнуть сжатие раскосов связей, а следовательно, их выключение. Связи верхнего яруса могут прикрепляться к тормозным балкам болтами с овальными отверстиями в вертикальном направлении.

В вертикальной плоскости верхний ярус связей обычно располагается, по оси надкрановой части колонны, а нижние связи должны быть двойными и их следует располагать в плоскостях как наружной, так и внутренней ветвей подкрановой части колонны (Рис. 11.21). Если имеется фахверк, то связи устанавливаются в плоскости фахверка и стыкуются со стойкой фахверка в среднем узле. По длине здания связи нижнего яруса размещаются в середине температурного блока (Рис. 11.21), но ни в коем случае не по концам. Размещение связей в середине здания обеспечивает свободную деформацию

продольных элементов при колебаниях температуры (удлинение или укорочение подкрановых балок, продольных связей и др.).

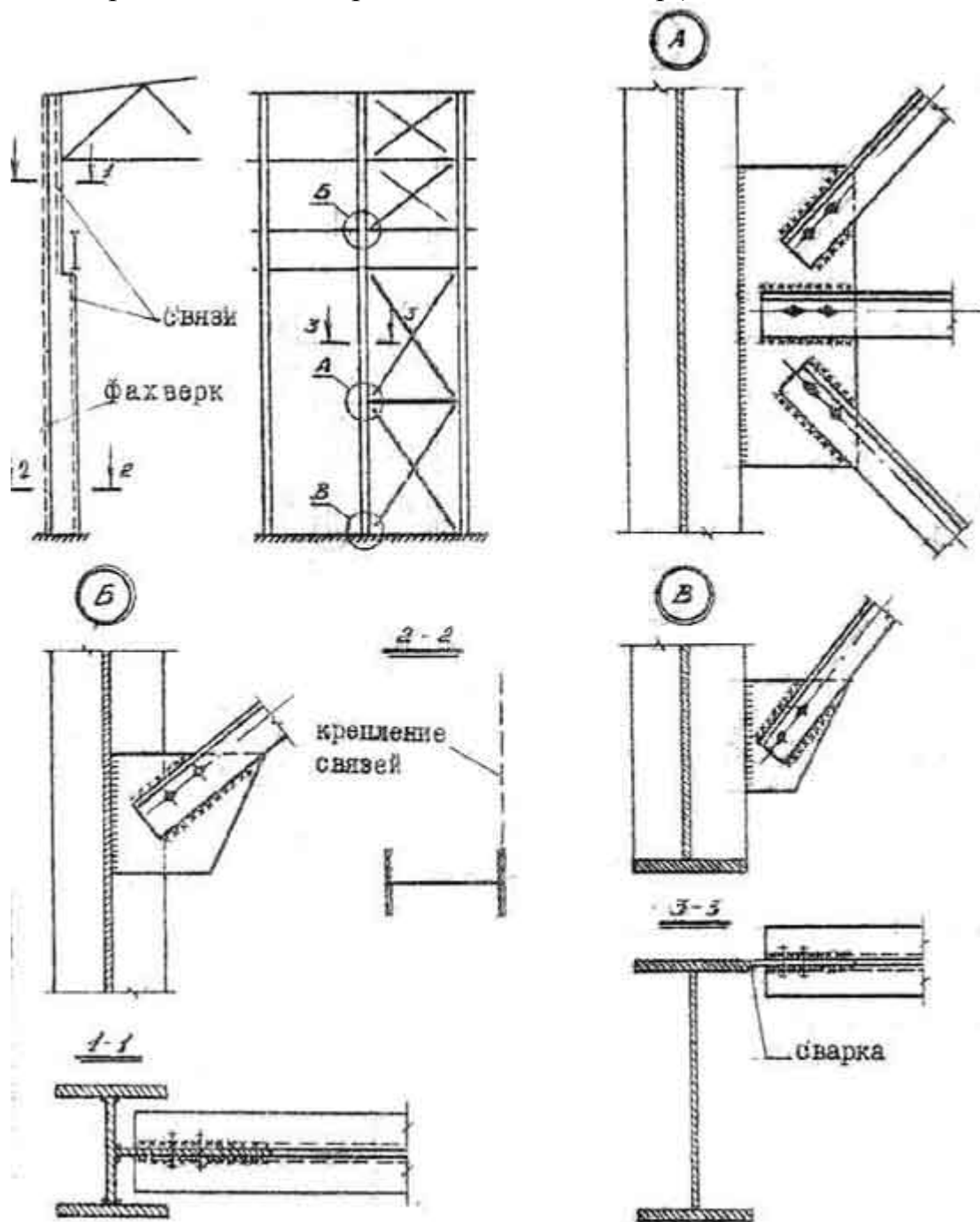


Рис. 11.22 Конструкции вертикальных связей между колоннами при шаге колонн 6м

Конструкции вертикальных связей между колоннами при шаге колонн 6м и 12м приведены на Рис. 11.22 и Рис. 11.23.

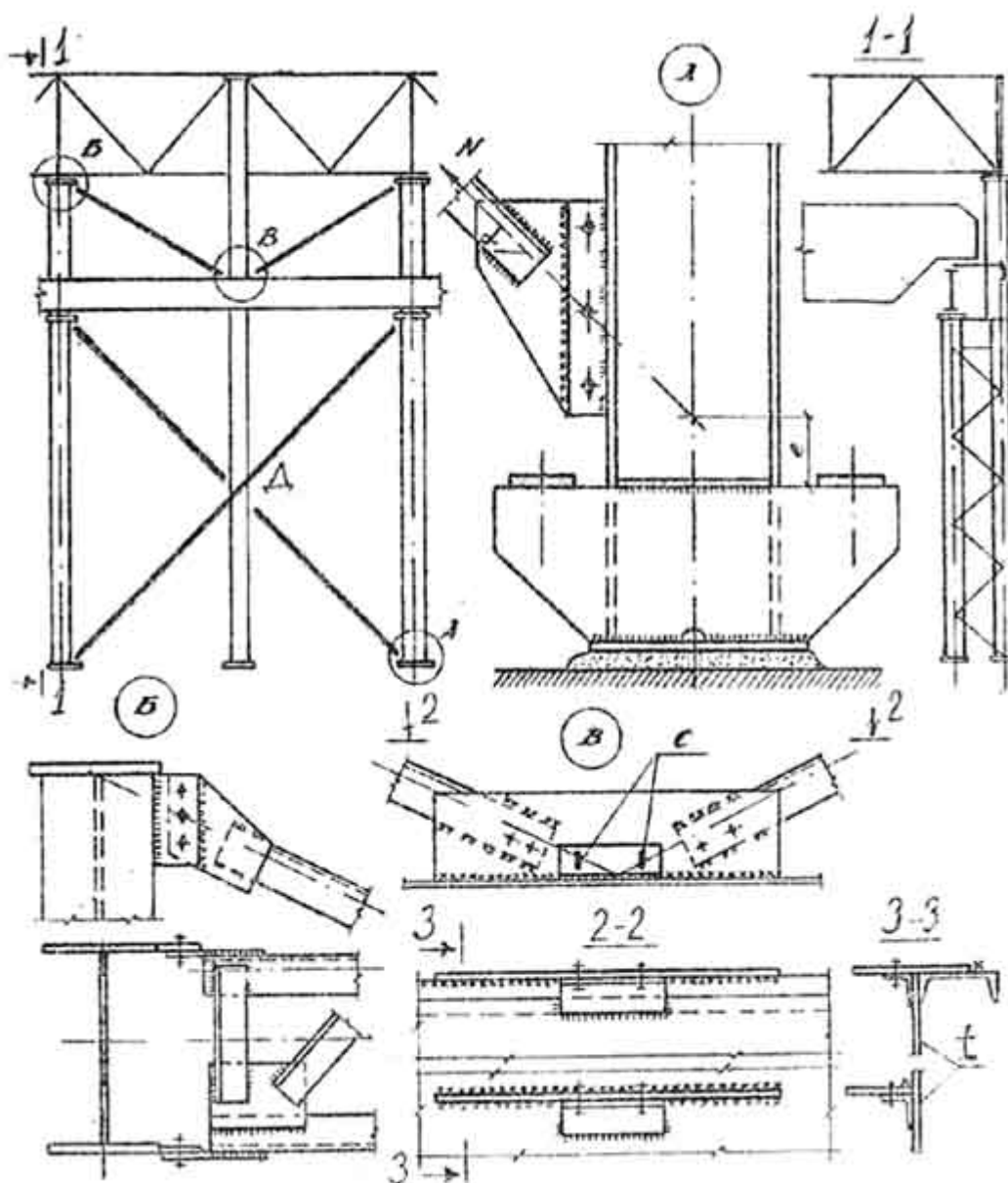


Рис. 11.23 Вертикальные связи между колоннами при шаге колонн 12 м с овальными отверстиями в узле В, допускающие прогибы подкрановой балки без нагружения связей верхнего яруса; t - тормозная балка

В большинстве видов связей затруднительно точно определить величины усилий, которые будут ими восприниматься. Поэтому сечения элементов связей, как правило, подбираются по предельной гибкости. Для элементов, о которых заранее известно, что они будут испытывать сжатие, рекомендуется принимать предельную гибкость 200.

По известным усилиям рассчитывается вертикальные, связи между колоннами, а также поперечные связи по нижнему поясу ригеля и продольные горизонтальные связи, в случае учета пространственной работы каркаса.

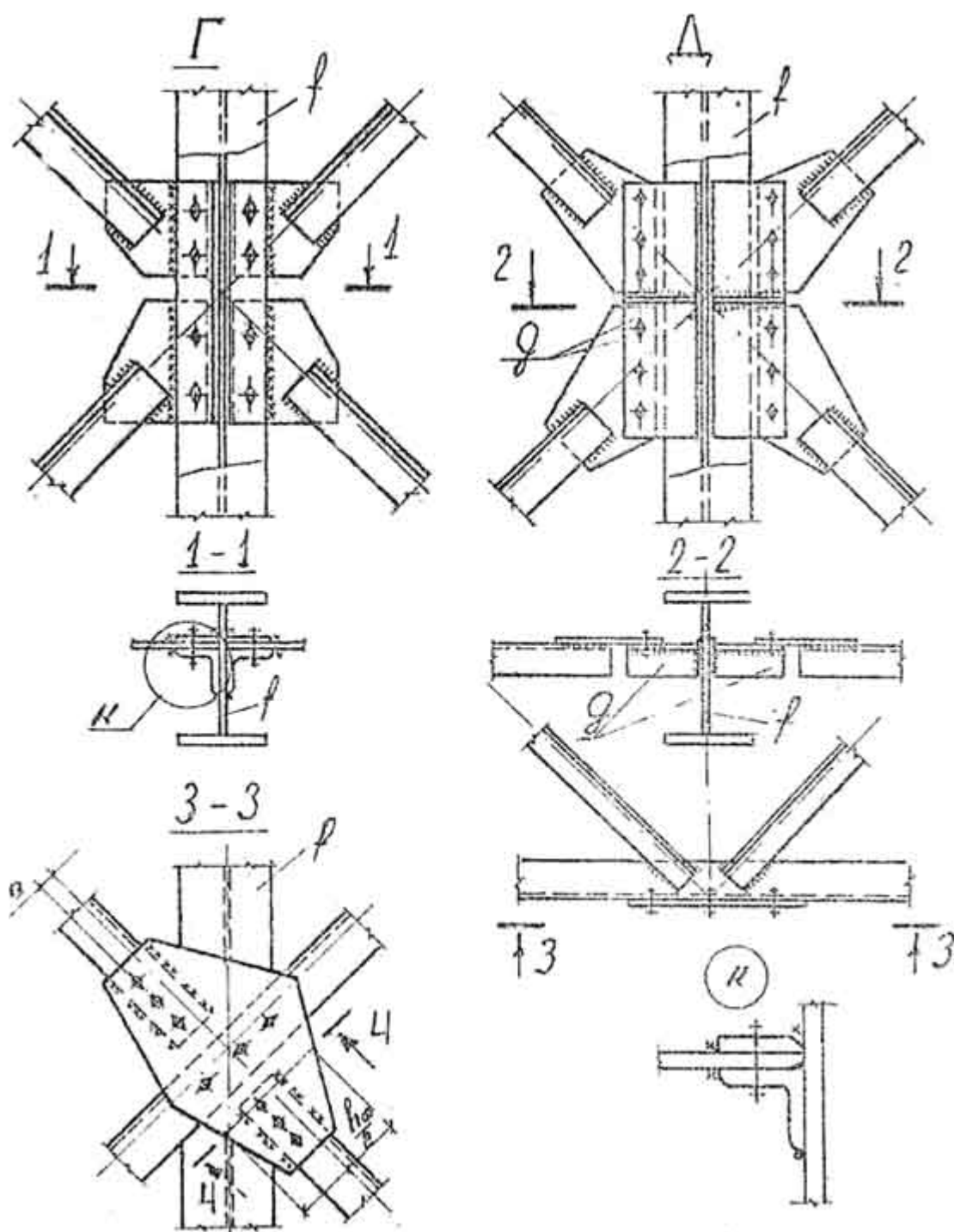


Рис. 11.24 Средний узел вертикальных связей

Г- крепление связей и стойке фахверка **f** на монтажной сварке; **Д**- на высокопрочных болтах; **Q**- ребра жесткости, **4-4** - расчетное сечение фасонки. Болты рассчитывается на осевое усилие в диагонали связей и момент от эксцентриситета "**a**"

12. Защита стальных конструкций от коррозии и пожара

12.1 Общие указания

Защита стальных строительных конструкций, эксплуатируемых в не агрессивных и слабоагрессивных средах, от коррозии должна производиться в соответствии с требованиями [3, 50].

Технологический процесс защиты металлоконструкций от коррозии или огневого воздействия с помощью лакокрасочных материалов и огнезащитных красок включает в себя следующие операции:

- подготовку поверхности перед окрашиванием;
- нанесение и сушку лакокрасочных (огнезащитных) покрытий;
- контроль качества выполняемых работ.

12.2 Подготовка поверхности перед окрашиванием

Подготовка поверхности включает в себя очистку поверхности металлоконструкций от окислов (прокатной окалины и ржавчины), механических, жировых и других загрязнений.

Предварительно с поверхности металлоконструкций должны быть полностью удалены вспомогательные элементы, заусенцы, сварочные брызги, остатки флюса, зачищены сварные швы, скруглены острые кромки радиусом менее 2,0 мм с помощью ручного или механизированного абразивного инструмента. Методы удаления загрязнений принимать по таб. Б1 [49].

Обезжиривание поверхности следует производить до первой степени (по Таб.9 [49]) кистями или ветошью, смоченными уайтспиритом, нефрасом или бензином марки Б-70.

Очистку поверхности вновь изготавливаемых конструкций от окислов следует производить дробеметным или дробеструйным (пескоструйным) способами до третьей степени по [49] при условии, что интервал с момента изготовления окрашенных металлоконструкций до подведения тепла в здании не превышает 6 месяцев и до второй степени - при интервале более 6 месяцев. При этом окрашенные металлоконструкции должны храниться на деревянных подкладках с прокладками из полиэтиленовой пленки.

Поверхность, очищенная до второй степени, должна быть матовой, серого цвета, с равномерной шероховатостью, максимальная величина которой составляет 40 мкм, без видимых невооруженным глазом остатков продуктов коррозии и прокатной окалины.

На поверхности металлоконструкций, очищенных от окислов до степени 3, допускается наличие отдельных полос и вкраплений ржавчины и прокатной окалины, занимающих не более 5 % поверхности.

Для исключения образования на очищенной поверхности вторичной ржавчины интервал между подготовкой поверхности и нанесением защитных покрытий должен быть сведен до минимума. Он не должен превышать 6 часов на открытом воздухе и 24 часов внутри помещений в условиях, ис-

ключающих попадание на очищенную поверхность пыли, масла, влаги, др. загрязнений и конденсацию на ней влаги.

12.3 Нанесение антикоррозионных покрытий

Нанесение лакокрасочных покрытий следует производить по одному из вариантов: вариант 1 - при интервале с момента изготовления окрашенных металлоконструкций до подведения тепла в здание не более 6 месяцев, вариант 2 - при интервале от 6 месяцев до 2-х лет.

Вариант 1

- Грунтовка ГФ-021 ГОСТ 25129-82 - 1 слой.
- Грунтовка ГФ-017 ОСТ 6-10-1428-79 – 1 слой – для конструкций, эксплуатируемых при расчетной температуре воздуха ниже минус 40°C.
- Эмаль ПФ-115 ГОСТ 6465-76 - 2 слоя.

Общая толщина покрытия составляет не менее 60 мкм.

Вариант 2

- Грунтовка ВЛ-02 - 1 слой;
- Грунтовка АК-070 (или АК-069) - 1 слой;
- Эмаль ХВ-124 (или ХВ-125, ХВ-16) - 4 слоя.

Общая толщина покрытия составляет не менее 110 мкм.

Нанесение лакокрасочных покрытий следует производить при температуре окружающего воздуха не ниже +15°C и относительной влажности воздуха не выше 80 %, если нет других указаний в нормативно-технической документации на каждый конкретный материал.

Нанесение лакокрасочных покрытий следует производить методами пневматического или безвоздушного распыления. При окрашивании мест крепежа и исправлении дефектов покрытия металлоконструкций после его монтажа допускается применение кисти.

Для обеспечения качественного окрашивания наиболее коррозионно-уязвимых мест следует острые кромки, углы, сварные швы и труднодоступные места перед распылением окрашивать кистью.

Лакокрасочные покрытия, повреждённые в результате транспортирования, хранения и монтажа металлоконструкций, должны быть восстановлены.

Используемые лакокрасочные материалы должны соответствовать требованиям ГОСТ или ТУ на эти материалы, иметь паспорта заводов-изготовителей и не истекший срок годности.

Качество нанесенного покрытия контролируют по внешнему виду путем визуального осмотра 100 % поверхности конструкций, времени высыхания, адгезии и толщине.

Нанесенное лакокрасочное покрытие должно быть сплошным (без не прокрашенных мест), без посторонних включений, потеков, морщин, пузырей, оспин и других дефектов, снижающих защитные свойства покрытий.

Покрытие должно быть однородным и достаточным по толщине, иметь удовлетворительную адгезию (1 - 2 балла). По своим декоративным свойствам покрытие должно соответствовать требованиям V - VI класса по [49].

Толщину лакокрасочных покрытий определяют методом неразрушающего контроля с помощью толщиномеров магнитного или электромагнитного типов, например МТ-33Н, МТ-50НЦ или других марок.

Предпочтительно нанесение лакокрасочных покрытий различных цветов (каждый слой своего цвета), что позволяет проконтролировать порядок и количество нанесенных слоев покрытия и получить лакокрасочное покрытие более высокого качества.

Выполненные в соответствии с настоящими требованиями покрытия обеспечивают защиту металлоконструкций от коррозии в течение 5 лет для системы покрытий по варианту 1 и 10 лет - для варианта 2.

12.4 Защита монтажных соединений на болтах

Несущие элементы каркаса здания участвующие в обеспечении общей устойчивости и геометрической неизменяемости здания при пожаре, необходимо обеспечить средствами противопожарной огнезащиты.

Защиту соединений на высокопрочных болтах следует выполнять с учетом следующих требований: контуры накладок, головки болтов, гайки и выступающие из них части резьбы болтов следует защищать, применяя эмаль с алюминиевой пудрой.

Для защиты стыков на высокопрочных болтах на монтажной площадке следует применять эмали с исходной вязкостью (без разбавления растворителем) с добавлением алюминиевой пудры до консистенции, исключающей затекание эмали внутрь пакета более чем на 20 мм.

Зазоры в стыках между элементами, соединяемыми на высокопрочных болтах, следует заполнить нетвердеющей герметизирующей мастикой.

После сборки соединения на болтах без контролируемого натяжения монтажные соединения, включая головки болтов, гайки, выступающие части резьбы болтов, должны быть очищены, огрунтованы, а щели в местах перепадов зашпатлеваны.

Для защиты соединения на болтах может использоваться грунтовка, применяемая для защиты соответствующей конструкции.

12.5 Пожарная безопасность

Защита от коррозии поверхностей строительных конструкций должна осуществляться с учетом требований по пределу огнестойкости и пожарной опасности. Выбор антикоррозионных материалов должен осуществляться с учетом их пожарно-технических характеристик (пожарной опасности) и их совместимости с огнезащитными материалами.

Порядок классификации строительных конструкций по огнестойкости и пожарной опасности устанавливается в соответствии с Федеральным за-

коном от 22 июля 2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и нормативными документами по пожарной безопасности.

Пределы огнестойкости и классы пожарной опасности строительных конструкций с первичной защитой должны соответствовать требуемой степени огнестойкости и классу конструкционной пожарной опасности зданий и сооружений, в которых они применяются.

Требуемые классы пожарной опасности антикоррозионных материалов вторичной защиты определяются нормативными документами и нормативными правовыми актами по пожарной безопасности.

Совместное применение антикоррозионных и огнезащитных составов должно осуществляться с учетом их совместимости и адгезии. Возможность применения огнезащитных составов поверх антикоррозионных необходимо подтверждать огневыми испытаниями. Средства огнезащиты, наносимые на конструкции, не должны приводить к коррозии конструкций.

В случаях, когда в результате замены противокоррозионных покрытий эксплуатируемой конструкции нарушается огнезащитное покрытие, необходимо предусматривать мероприятия по восстановлению огнезащитного покрытия для обеспечения требуемых пределов огнестойкости и (или) классов функциональной пожарной опасности.

При использовании конструкционной огнезащиты необходимо предусматривать дополнительные мероприятия по обеспечению коррозионной защиты конструкций с учетом вида и степени агрессивного воздействия среды.

Напыляемые огнезащитные составы и тонкослойные огнезащитные покрытия должны предусматриваться стойкими к условиям агрессивной среды или быть защищены специальными покрытиями.

При применении огнезащитных составов с защитой поверхности покрытия огнезащитные характеристики следует определять с учетом поверхностного слоя.

Средства огнезащиты следует применять в соответствии с разработанным проектом огнезащиты. Проект должен содержать данные об огнезащитной эффективности средств огнезащиты, прочности, результаты теплотехнических расчетов по обеспечению пределов огнестойкости, а также сведения об условиях применения и эксплуатации огнезащиты.

С целью определения качества выполненной огнезащитной обработки конструкций, защищенных огнезащитными средствами, проводится визуальный осмотр нанесенных огнезащитных покрытий для выявления необработанных мест, трещин, отслоений, изменения цвета, посторонних пятен, инородных включений и других повреждений, а также замер толщины нанесенного слоя. Внешний вид и толщина слоя огнезащитного покрытия, нанесенного на защищаемую поверхность, должны соответствовать требованиям нормативной документации на данное покрытие.

Заключение

Для дальнейшего развития строительства зданий с металлическим каркасом, в том числе жилых, общественных, промышленных, устройства каркасов высотных зданий в различных климатических условиях, необходимо разрабатывать новые и совершенствовать существующие подходы к проектированию и изготовлению металлических конструкций.

Особую роль в современном мире занимает трехмерное проектирование с использованием численных моделей зданий (BIM-проектирование). Применение этих методов и сопряженные с ними расчетные программы позволяют решать сложные пространственные задачи, численное моделирование которых стало возможным благодаря развитию IT-технологиям.

Авторы считают проектные решения, предложенные в пособие, выверенными и оптимизированными, с точки зрения надежности и простоты решений, а также материалоемкости, но не единственно возможными и не претендующими на истину «в последней инстанции».

Опыт проектирования и практических расчетов относительно несложных, часто встречающихся зданий со стальным каркасом, которым авторы пособия поделились с читателем, служит ценным источником знаний.

Изложенный в работе алгоритм проектирования стальных конструкций, как последовательность действий при проектировании основных элементов здания при помощи самых распространенных инструментов: графических и расчетных программ с учетом требований современных строительных норм, послужит пособием по практическому конструированию и проектированию стальных конструкций зданий, для студентов, специалистов и инженеров проектировщиков.

Приложение 1

**ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ, РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ ЭЛЕМЕНТОВ
ФЕРМ И УЗЛОВ СТАЛЬНЫХ КАРКАСОВ**

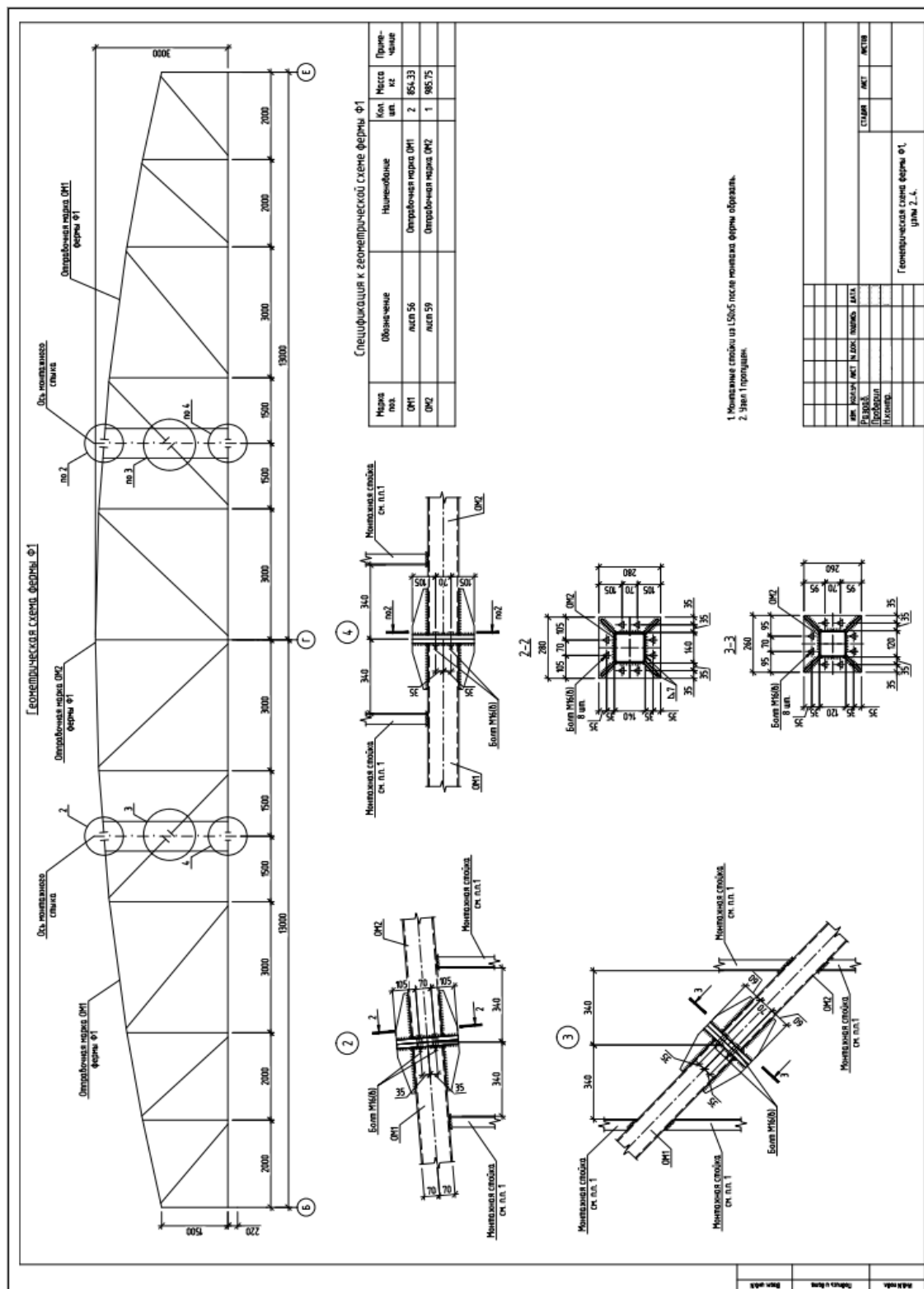
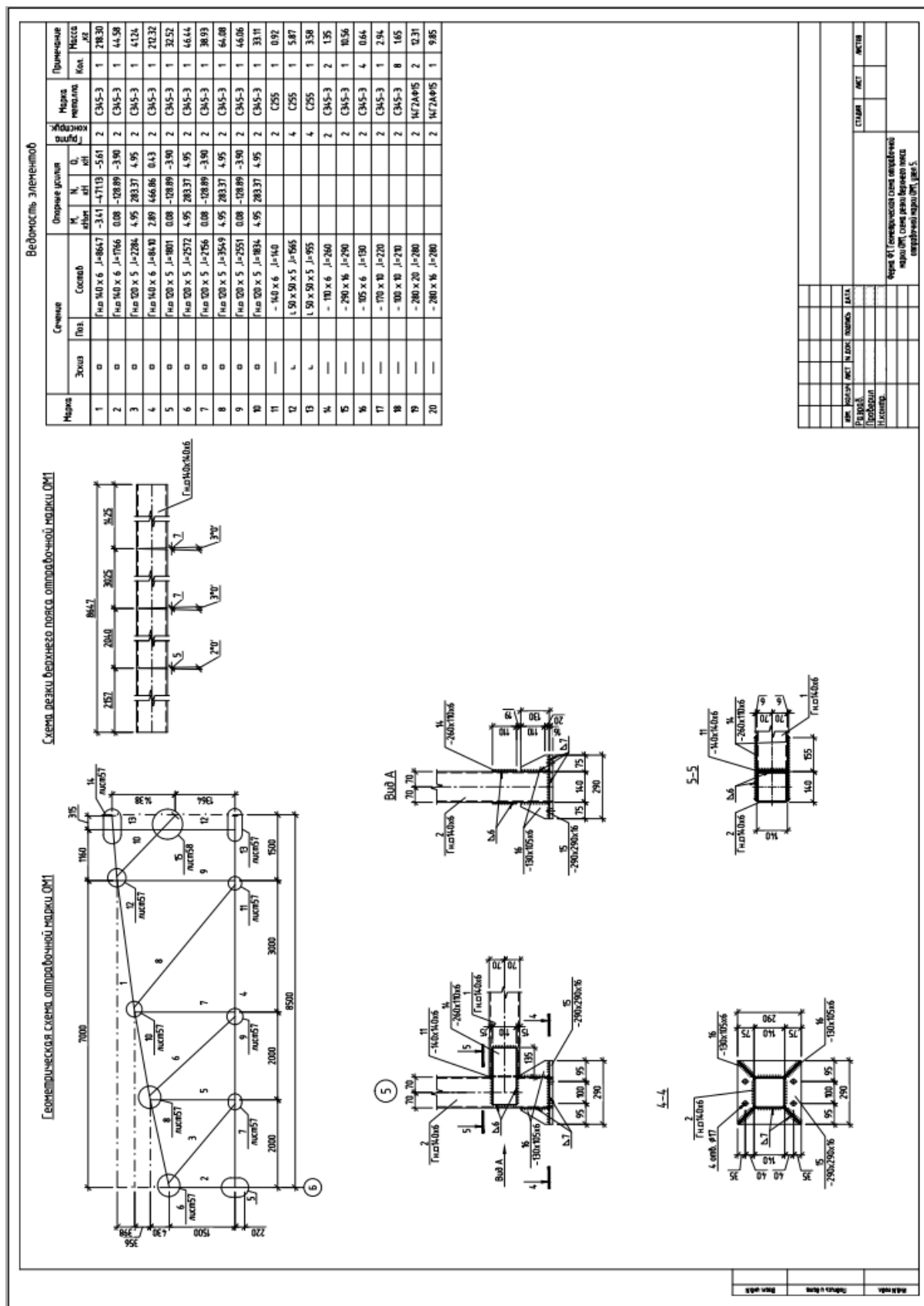


Рис. 0.1 Пример оформления геометрической схемы фермы



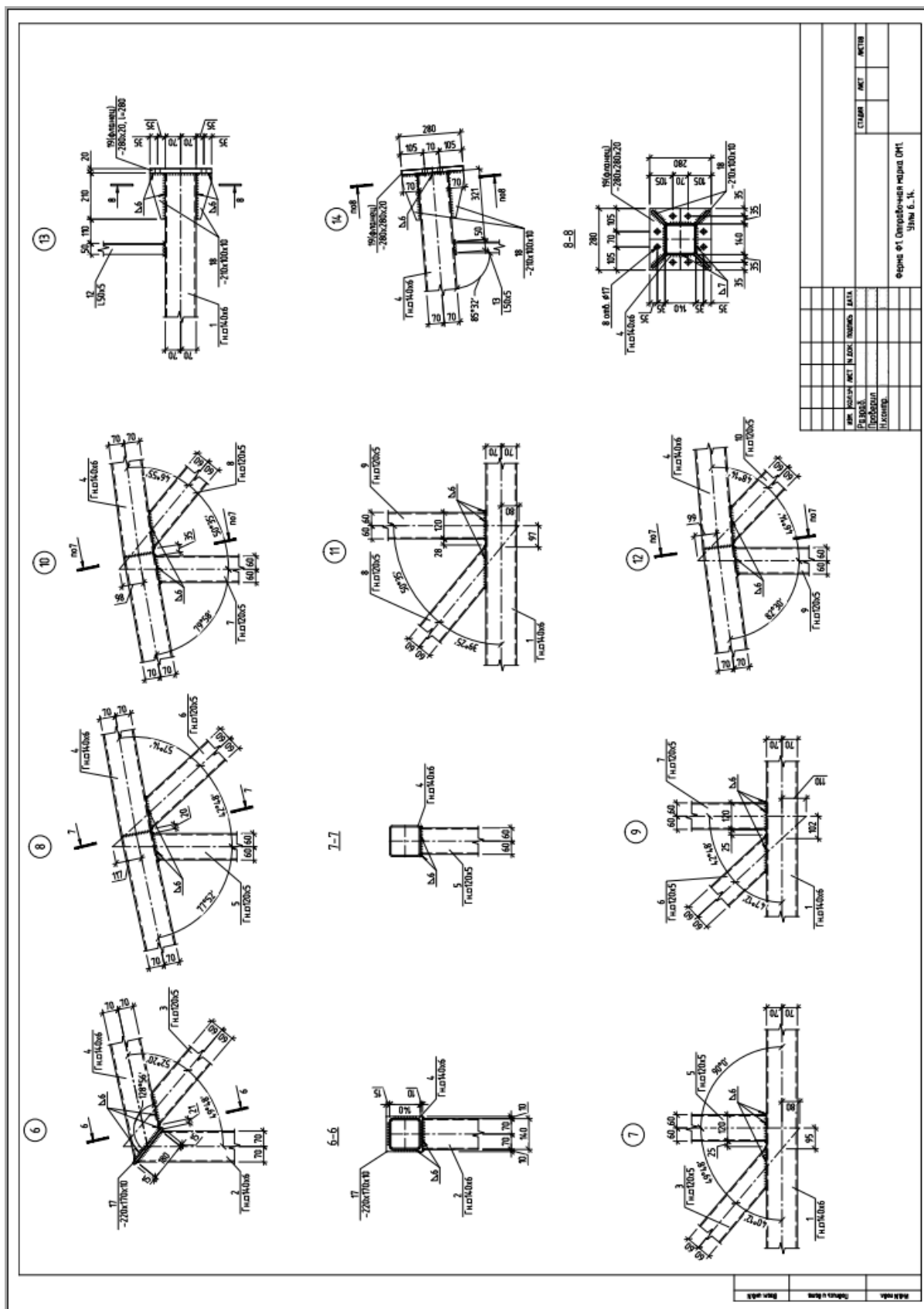


Рис. 0.3 Пример оформления узлов фермы

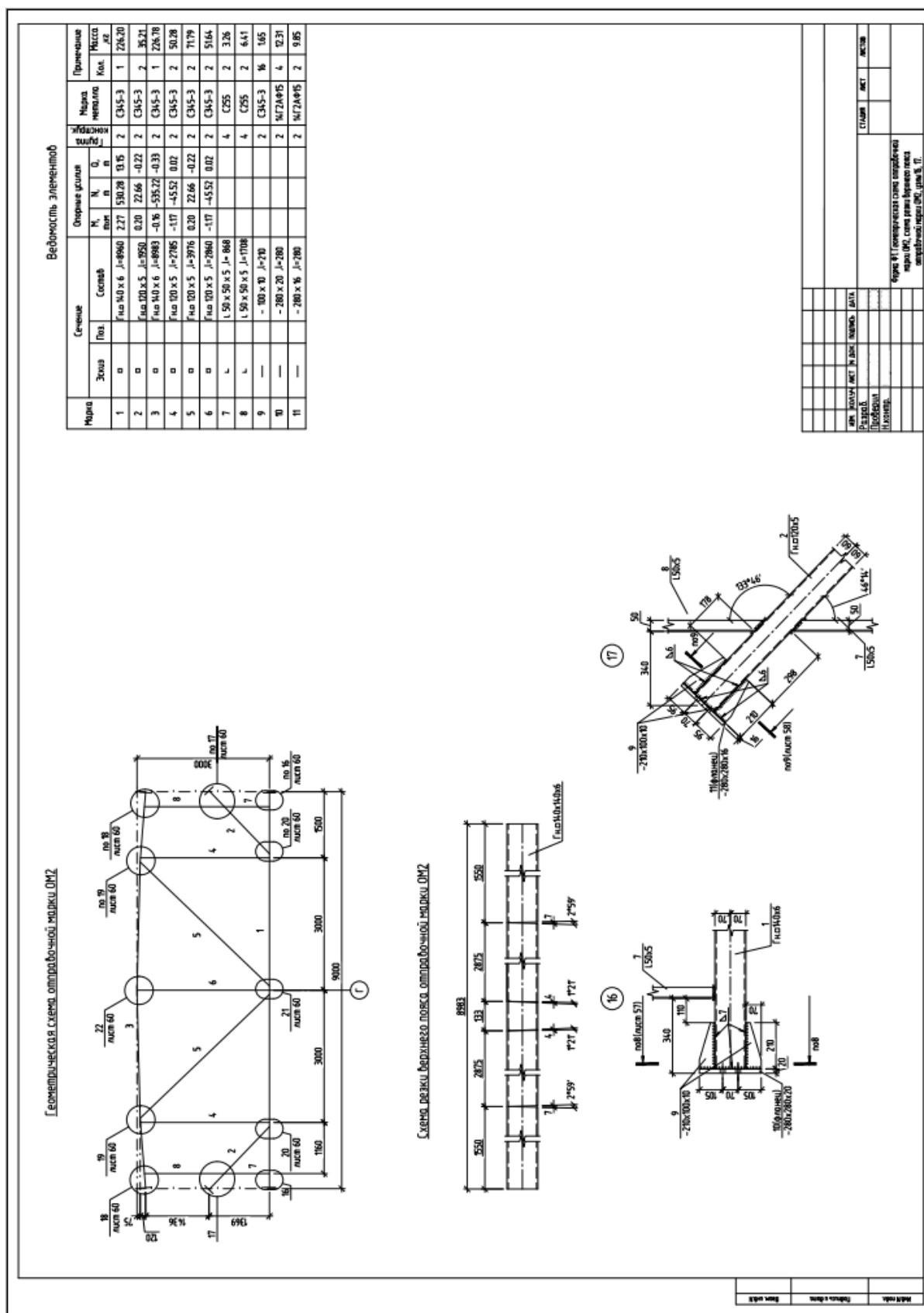


Рис. 0.4 Пример оформления геометрической схемы отправочной марки

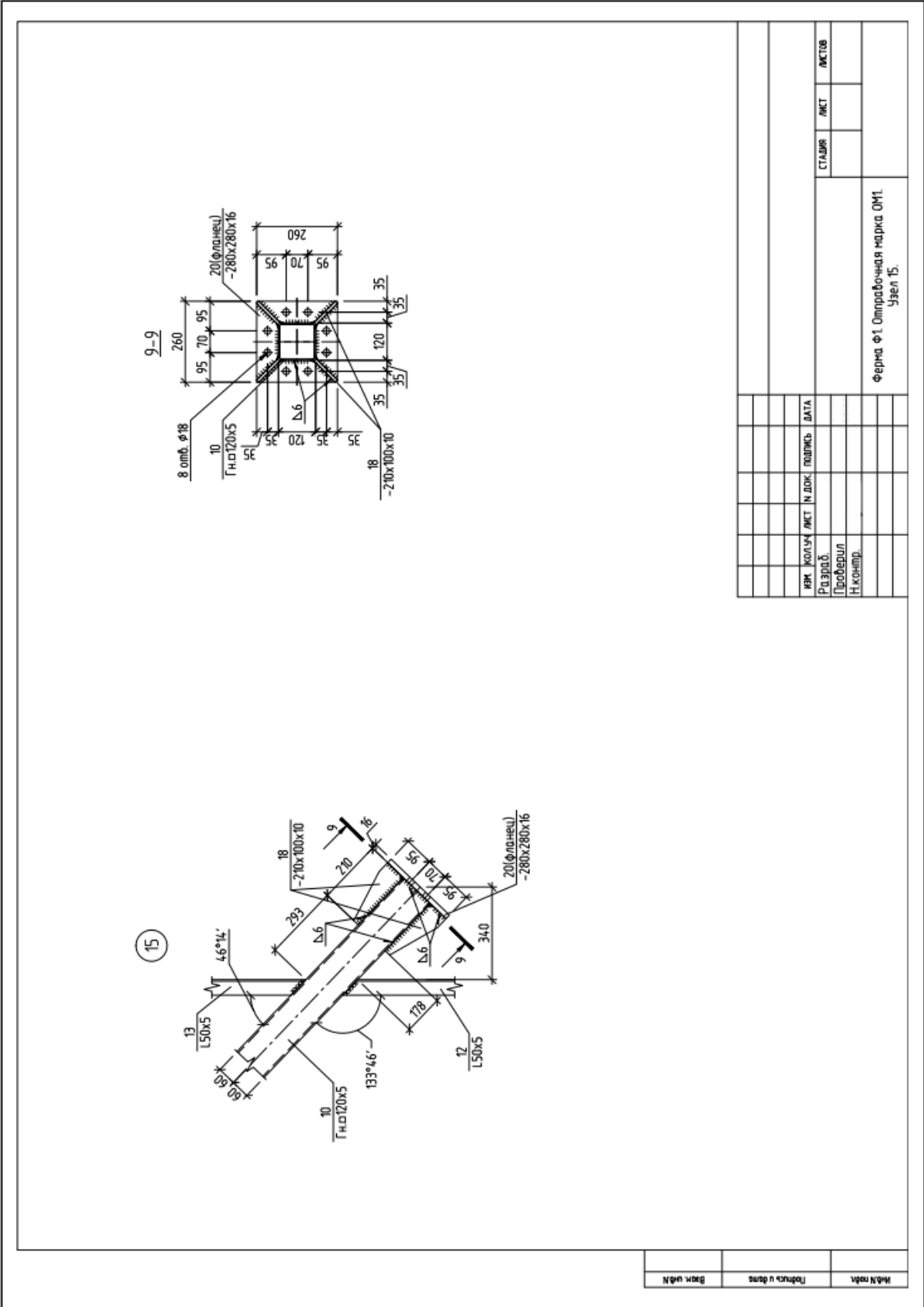


Рис. 0.6 Пример оформления узлов фермы

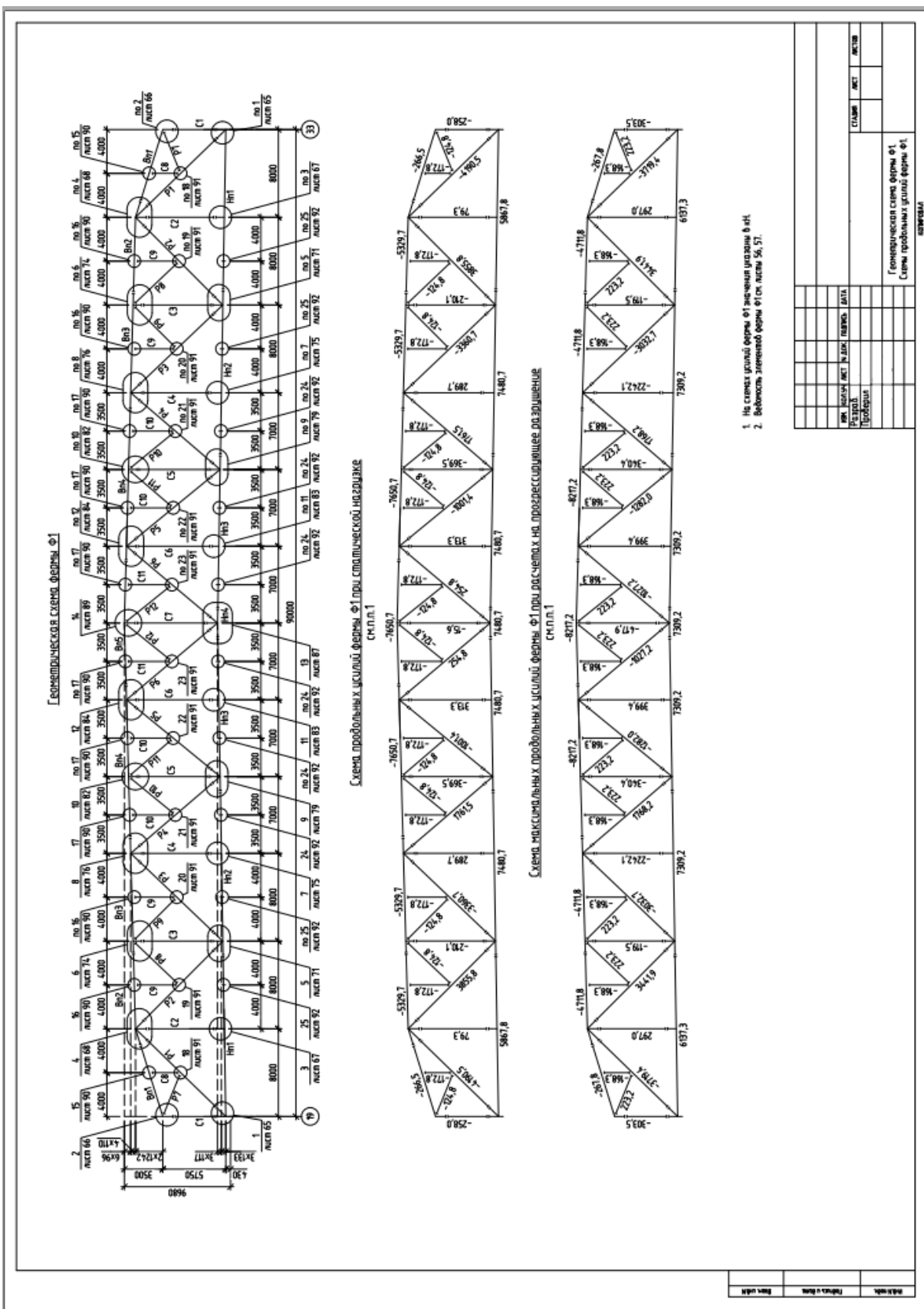
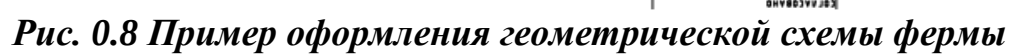


Рис. 0.7 Пример оформления геометрической схемы фермы





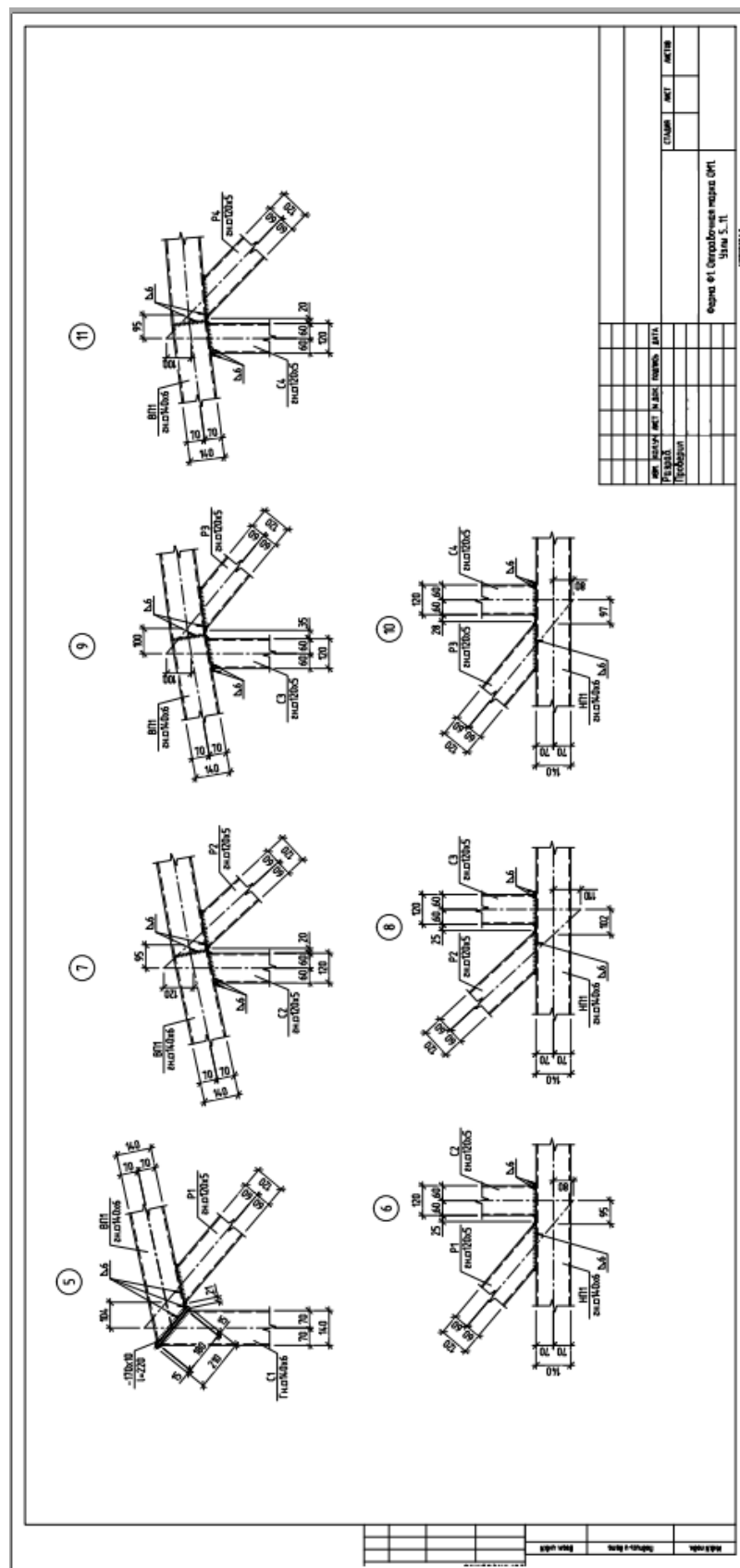


Рис. 0.10 Пример оформления узлов фермы

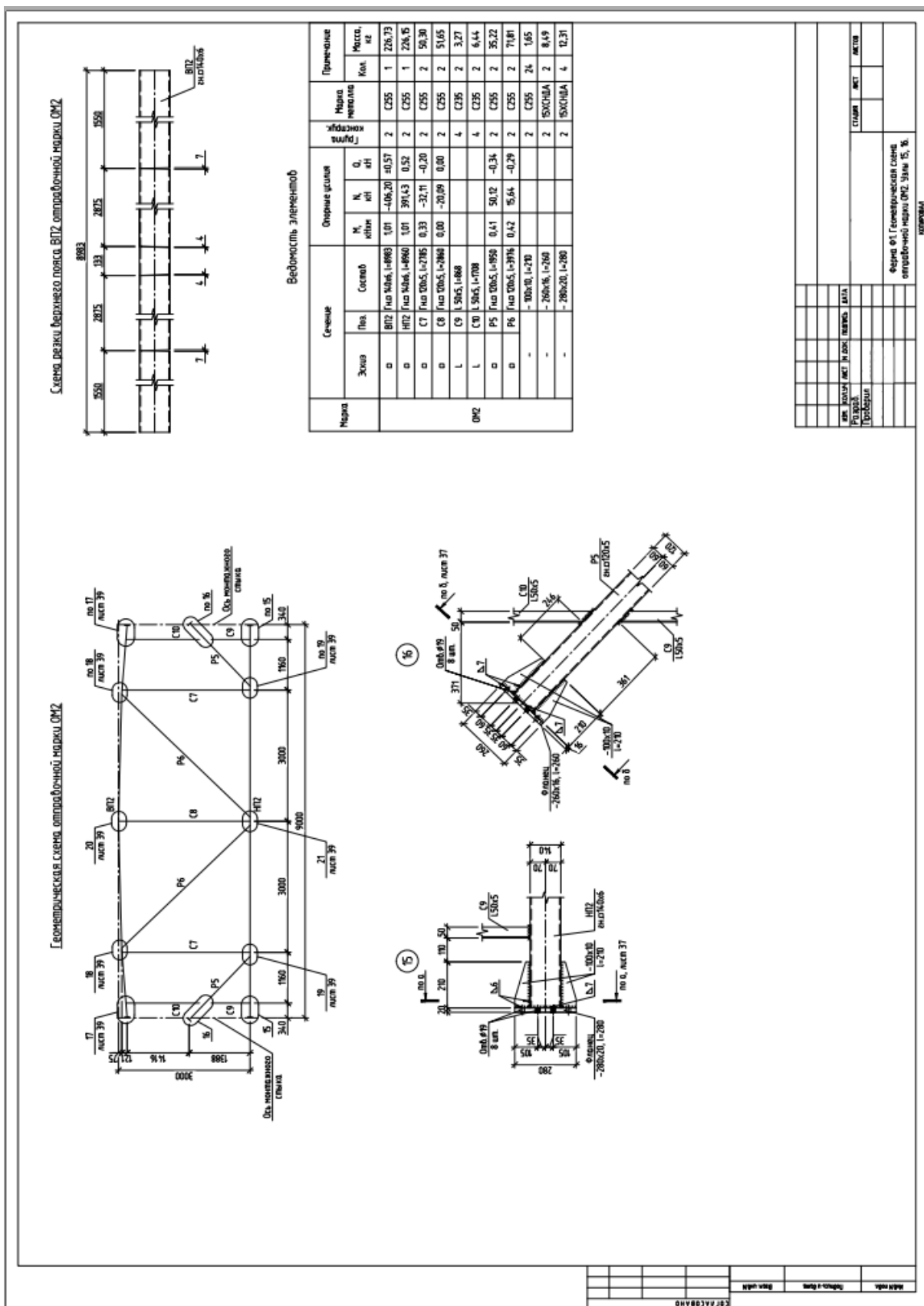


Рис. 0.12 Пример оформления узлов фермы

Фермы из уголков



Рис. 0.14 Пример оформления геометрической схемы фермы

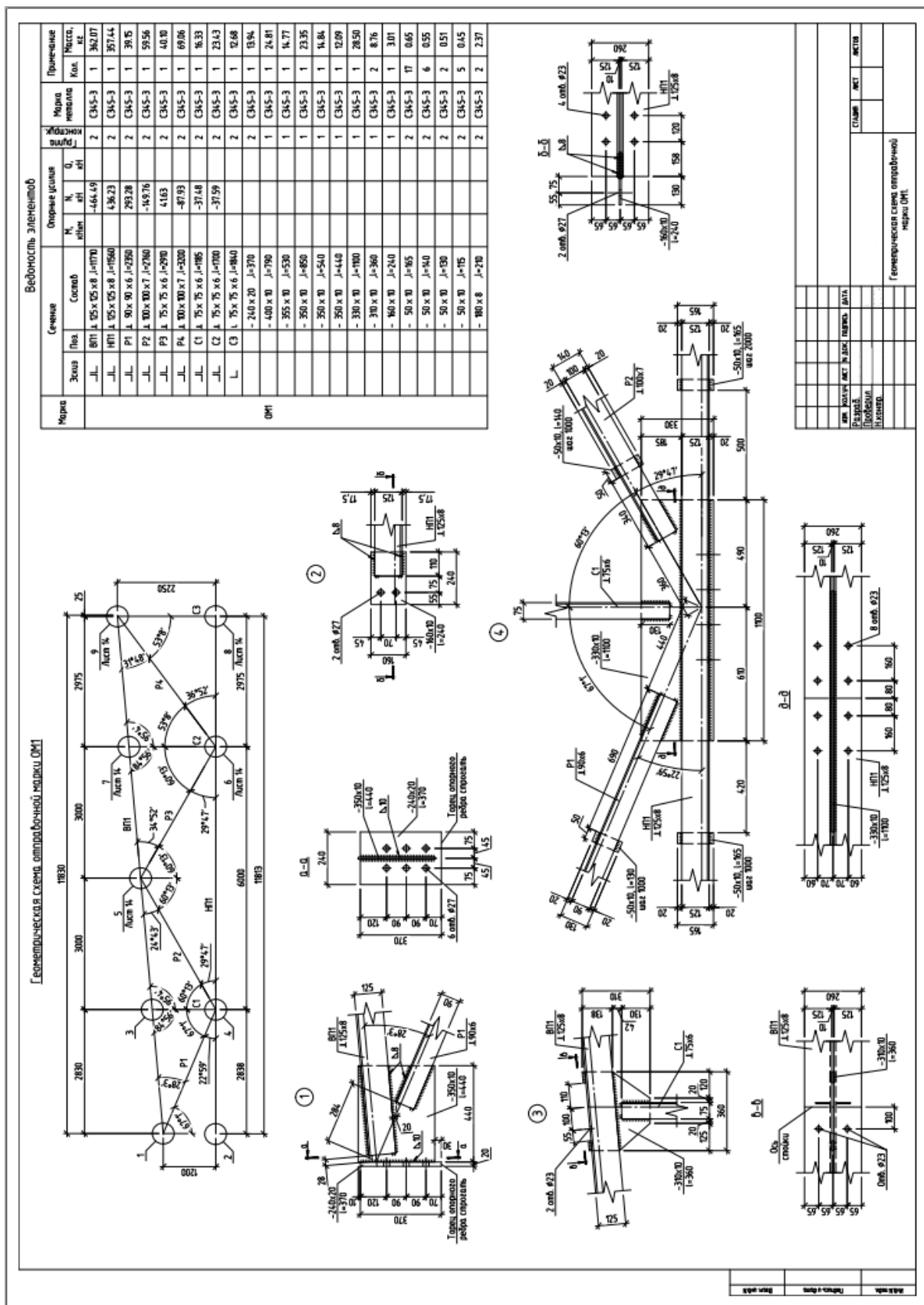
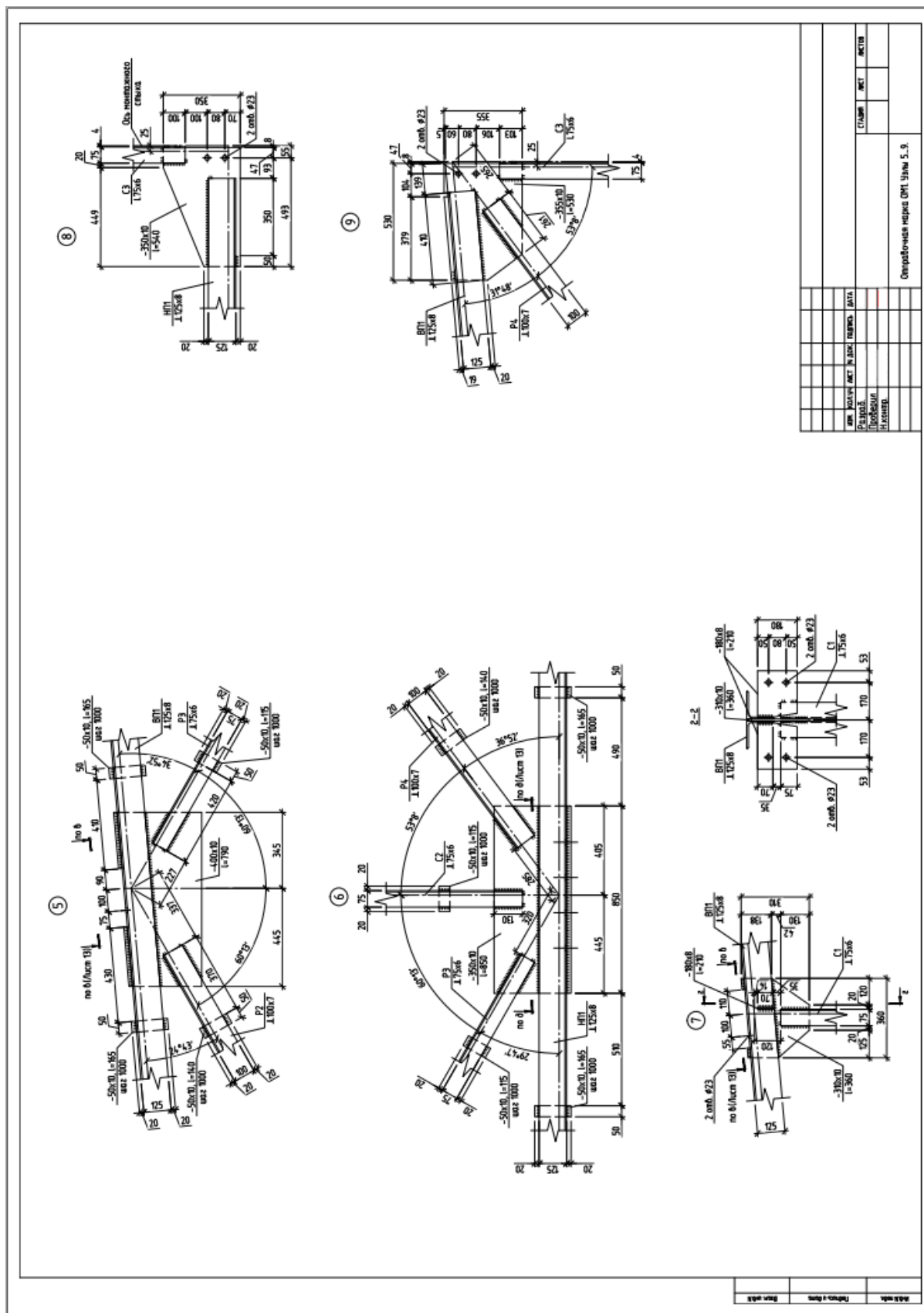


Рис. 0.15 Пример оформления геометрической схемы отправочной марки



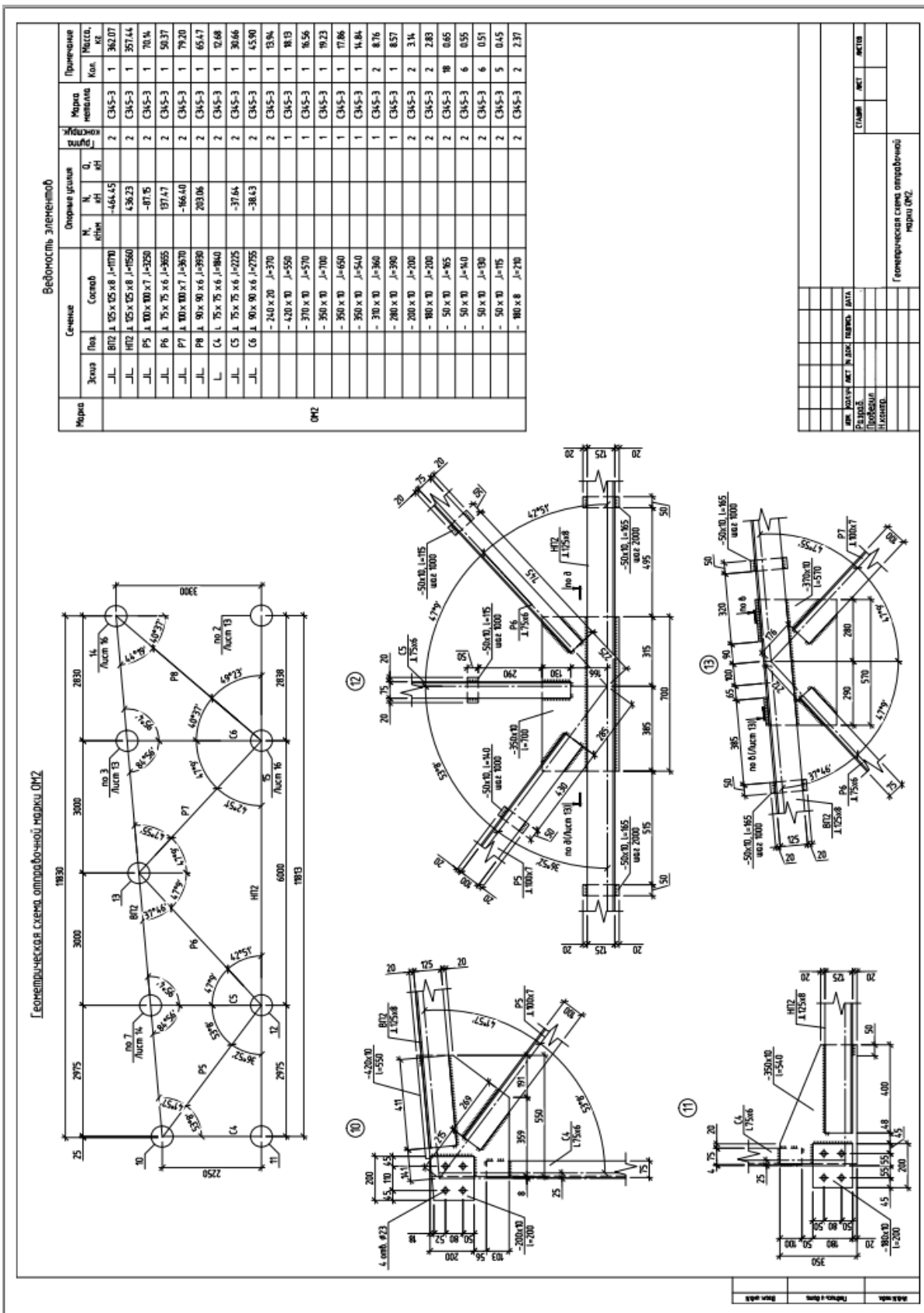
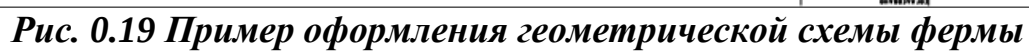


Рис. 0.17 Пример оформления узлов фермы



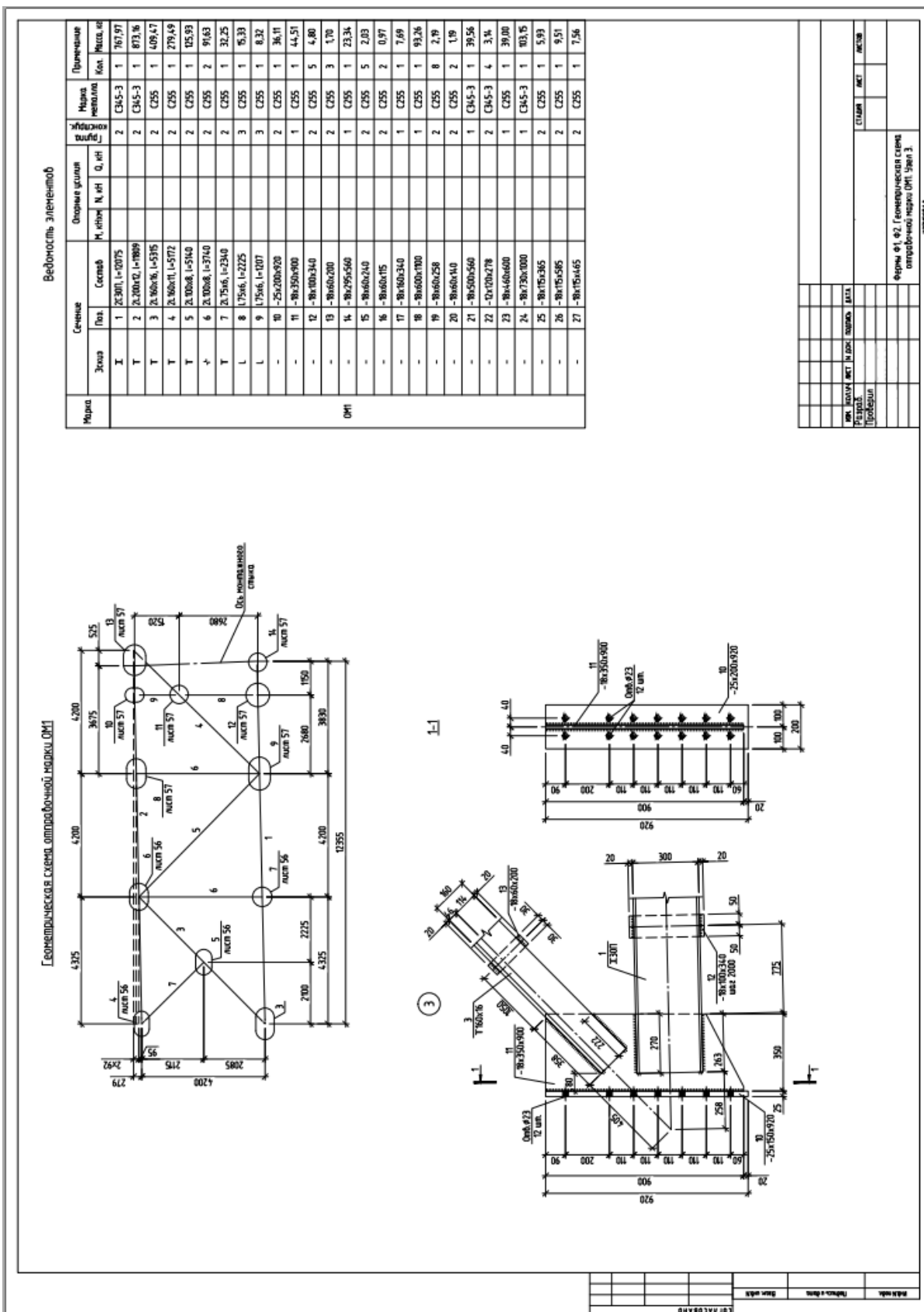


Рис. 0.20 Пример оформления геометрической схемы отправочной марки

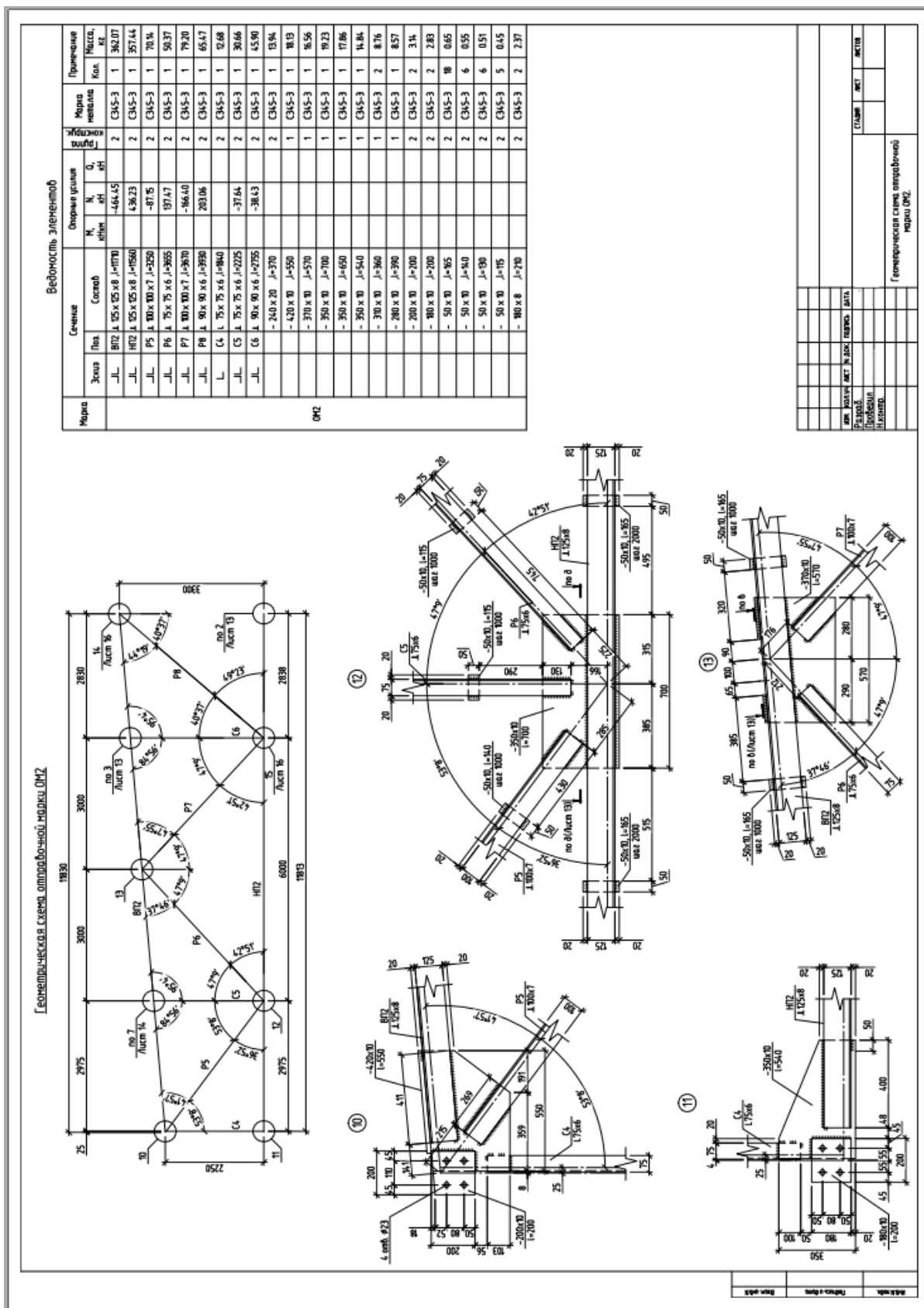
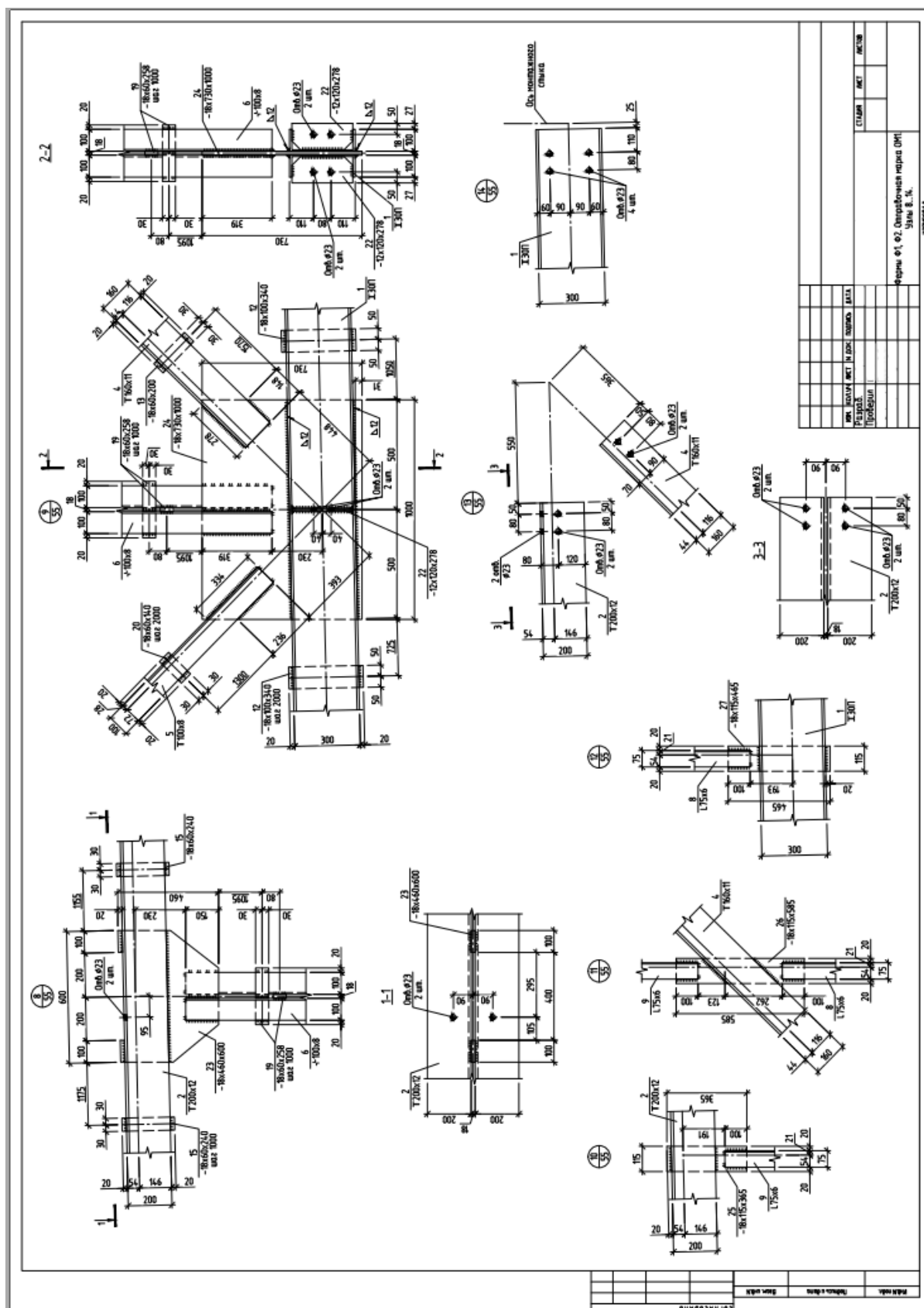


Рис. 0.21 Пример оформления геометрической схемы отправочной марки



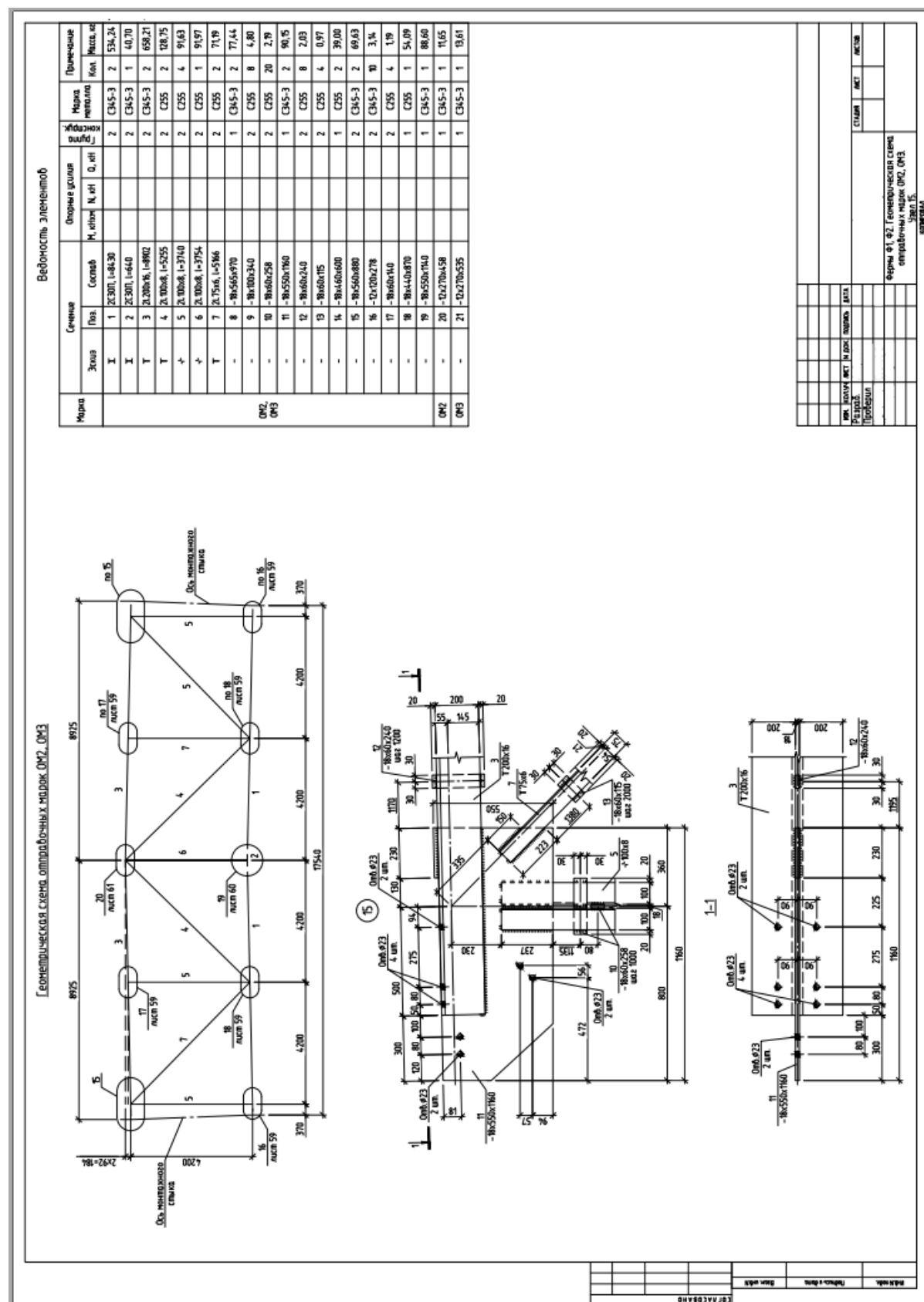


Рис. 0.23 Пример оформления геометрической схемы отправочной марки

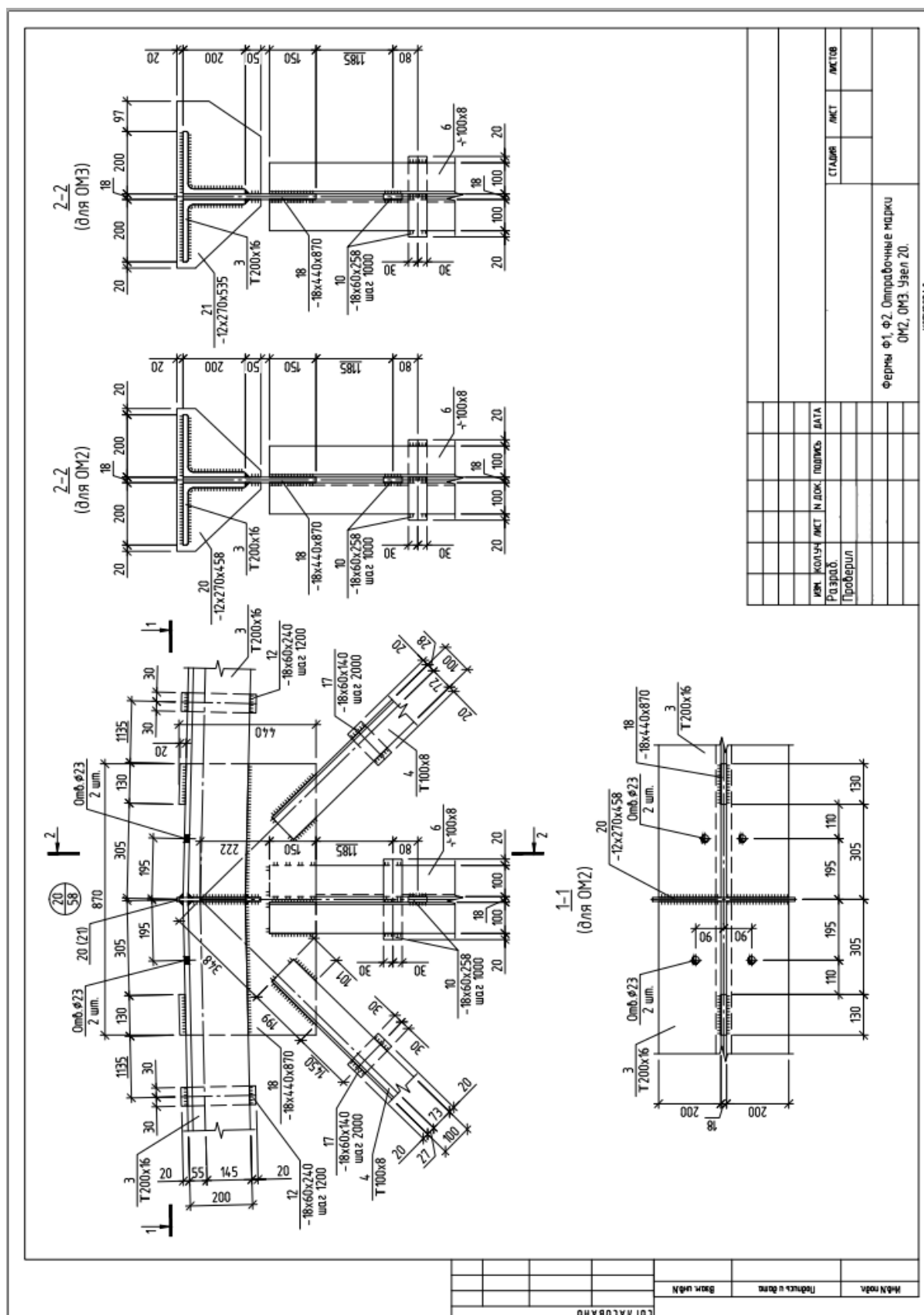


Рис. 0.26 Пример оформления геометрической схемы фермы

Библиографический список

1. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции».
2. СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии».
3. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».
4. СП 294.1325800.2017 «Конструкции стальные. Правила проектирования».
5. ГОСТ 2.315-68 ЕСКД. Изображения упрощенные и условные крепежных деталей.
6. ГОСТ 2.410-68 ЕСКД. Правила выполнения чертежей металлических конструкций.
7. ГОСТ Р 21.1101-2013 СПДС. Основные требования к проектной и рабочей документации.
8. ГОСТ 21.501-2011 СПДС. Правила выполнения рабочей документации архитектурных и конструктивных решений.
9. СН 460-74. Временная инструкция о составе и оформлении строительных рабочих чертежей зданий и сооружений.
10. ГОСТ 8509-93 «Уголки стальные горячекатаные равнополочные».
11. ГОСТ 8510-86* «Уголки стальные горячекатаные неравнополочные».
12. ГОСТ 8240-97 «Швеллеры стальные горячекатаные».
13. ГОСТ 26020-83 «Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок».
14. ГОСТ 8239-89 «Двутавры стальные горячекатаные».
15. СТО АСЧМ 20-93 «Прокат стальной сортовой фасонного профиля. Двутавры с параллельными гранями полок».
16. ГОСТ 30245-2003 (с 1.01.2017г. заменен на ГОСТ 30245-2012) «Трубы стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций».
17. ГОСТ 8278-93 «Швеллеры стальные гнутые равнополочные».
18. ГОСТ 8281-80 «Швеллеры стальные гнутые неравнополочные».
19. ГОСТ 19771-93 «Уголки стальные гнутые равнополочные».
20. ГОСТ 19772-93 «Уголки стальные гнутые неравнополочные».
21. ГОСТ 8282-83 «Профили стальные гнутые с-образные равнополочные».
22. ГОСТ 10704-91 «Трубы стальные электросварные прямошовные».
23. ГОСТ 8732-78 «Трубы стальные бесшовные горячедеформированные».
24. ГОСТ 8568-77 «Листы стальные с ромбическим и чечевичным рифлением. Технические условия».
25. ГОСТ 19903-2015 «Прокат листовой горячекатаный. Сортамент».

26. ГОСТ 16523-97 «Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обычного качества общего назначения. Технические условия».
27. ГОСТ 82-70 «Прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный. Сортамент».
28. ГОСТ 103-2006 «Прокат сортовой стальной горячекатаный полосовой. Сортамент».
29. ГОСТ 2590-2006 «Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент».
30. ГОСТ 2591-2006 «Прокат сортовой стальной горячекатаный квадратный. Сортамент».
31. ГОСТ 2879-2006 «Прокат сортовой стальной горячекатаный шестигранный. Сортамент».
32. ГОСТ 2601-84 «Сварка металлов. Термины и определения основных понятий».
33. ГОСТ 5264-80 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».
34. ГОСТ 11534-75* «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острым и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».
35. ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».
36. ГОСТ 23518-79 «Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острым и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».
37. ГОСТ 9467-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей».
38. ГОСТ 2246-70 «Проволока стальная сварочная».
39. ГОСТ 8050-85 «Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия».
40. ГОСТ 10157-79 «Аргон газообразный и жидкий. Технические условия».
41. Пособие к СНиП II-23-81 «Пособие по расчету и конструированию сварных соединений стальных конструкций».
42. ГОСТ 7798-70 «Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкции и размеры».
43. ГОСТ 5915-70 «Гайки шестигранные класса точности В. Конструкции и размеры».
44. ГОСТ 11371-78 «Шайбы. Технические условия».
45. ГОСТ Р 52644-2006 «Болты высокопрочные с шестигранной головкой с увеличенным размером под ключ для металлических конструкций. Технические условия».

46. ГОСТ Р 52643-2006 «Болты и гайки высокопрочные и шайбы для металлических конструкций. Общие технические условия»
47. ГОСТ Р 52645-2006 «Гайки высокопрочные шестигранные с увеличенным размером под ключ для металлических конструкций».
48. ГОСТ Р 52646-2006 «Шайбы к высокопрочным болтам для металлических конструкций».
49. ГОСТ Р ИСО 898-1-2011 «Механические свойства крепежных изделий из углеродистых и легированных сталей. Часть 1. Болты, винты и шпильки установленных классов прочности с широким и мелким шагом резьбы».
50. ГОСТ 9.402-2004 «Единая система защиты от коррозии и старения. Покрyтия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей перед окрашиванием».
51. ГОСТ 25129-82 «Грунтовка ГФ-021. Технические условия».
52. ГОСТ 6465-76 «Эмали ПФ-115. Технические условия».
53. ОСТ 6-10-1428-79 «Грунтовка ГФ-017».
54. СП 2.13130.2012 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».
55. ГОСТ 19282-2014 «Прокат повышенной прочности. Общие технические условия».
56. Серия 1.423.3-8 выпуск 2 «Колонны для зданий высотой от 6,0 до 8,4м бескрановых и с подвесными электрическими кранами общего назначения грузоподъемностью 5т. Чертежи КМ».
57. ГОСТ 24379.0-2012 «Болты фундаментные. Общие технические условия».
58. ГОСТ 24379.1-2012 «Болты фундаментные. Конструкция и размеры».
59. ГОСТ 10605-94 «Гайки шестигранные с диаметром резьбы свыше 48 мм класса точности В. Технические условия».
60. Пособие по проектированию анкерных болтов для крепления строительных конструкций и оборудования к СНиП 2.09.03.
61. В.К. Файбишенко. «Металлические конструкции»
62. Металлические конструкции под редакцией Г.С. Веденикова, Москва Стройиздат, 1998г.
63. «Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций» Москва Центральное бюро научно-технической информации, 1989г.
64. Металлические конструкции. Элементы конструкций под редакцией В. В. Горева. Москва «Высшая школа» 2004

Учебное издание

Малышкин Александр Петрович

Есипов Андрей Владимирович

Бараняк Андрей Игоревич

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В авторской редакции

Подписано в печать 20.07.2020. Формат 60х90 1/16. Печ. л. 8,4.
Тираж 100 экз. Заказ № 276.

Библиотечно-издательский комплекс
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Тюменский индустриальный университет».
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса.
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.