Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова

Б. И. Мандров

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Учебное пособие

Издание 3-е исправленное и дополненное

АлтГТУ
Барнаул • 2022

Об издании – 1, 2

УДК 624.014.025

Мандров, Б. И. Расчет и проектирование сварных соединений : уч. пособие / Б. И. Мандров ; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Изд. 3-е, испр. и доп. – Барнаул : АлтГТУ, 2022. – 118 с., ил. – URL : http://elib.altstu.ru/uploads/open_mat/2022/Mandrov_RasPrSS_ump.pdf. – Текст : электронный.

ISBN 978-5-7568-1354-8

Дан краткий теоретический материал для выполнения курсового проекта. Определены общие требования к проекту, содержание графической части и пояснительной записки, порядок выполнения курсового проекта, варианты заданий, справочные материалы для расчета ферм и методики расчета нагрузок, усилий, сечений элементов ферм и сварных швов. Рассмотрен пример расчета стропильной фермы.

Учебное пособие предназначено для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение», направленности (профиля) «Оборудование и технология сварочного производства». Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры «Малый бизнес в сварочном производстве» (протокол № 01 от 20 09.2021 г.).

Рецензенты:

Альбрант В. Ю., служба главного сварщика АО «Алтайвагон»;
Посылкин Ю. С., начальник цеха, ООО «Барнаулмеханомонтаж»

Учебное пособие

Минимальные системные требования Yandex (20.12.1) или Chrome (87.0.4280.141) и т. п. Скорость подключения - не менее 5 Мб/с, Adobe Reader и т. п.

Дата подписания к использованию 16.05.2022. Объем издания – 4 Мб.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, https://www.altstu.ru.

ISBN 978-5-7568-1354-8

© Мандров Б. И., 2022
© Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2022

Содержание

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ 5
2 ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ 7
2.1 Пояснительная записка 7
2.2 Рекомендации по оформлению текста пояснительной записки курсового проекта 9
2.3 Рекомендации по построению текста пояснительной 10
записки 10
2.4 Рекомендации по изложению текста пояснительной записки 12
2.5 Графическая часть проекта 23
2.6 Правила оформления графических документов 24
2.7 Организационные вопросы проектирования 29
3 СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ФЕРМЫ 31
3.1 Конструктивные особенности ферм 31
3.2 Материалы и типы поперечных сечений элементов 39
стропильных ферм 39
3.3 Устройство покрытия 46
3.4 Определение узловых нагрузок фермы 53
3.5 Определение усилий в стержнях плоских ферм 58
3.6 Подбор сечений стержней фермы 64
3.7 Конструирование узлов ферм 68
3.8 Болтовые соединения ферм 73
3.9 Технологическая часть 74
4 ПРИМЕР РАСЧЕТА СТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ 75
4.1 Компоновка конструкции фермы 75
4.2 Определение узловых нагрузок, действующих на ферму 77
4.3 Определение усилий в стержнях фермы 78
4.4 Подбор поперечных сечений стержней фермы 80
Список использованных источников 102
Приложение А 104
Приложение Б 105
Приложение В 107
Приложение Г 109
Приложение Д 110
Приложение Е 111
Приложение Ж 113
Приложение К 114

ВВЕДЕНИЕ

В практической деятельности бакалавра машиностроительного направления большое значение имеет профессиональная компетенция (от лат. ***coγcpetere*** - соответствовать, подходить) - способность успешно действовать на основе практического опыта, умения и знаний при решении профессиональных задач. Одним из эффективных путей приобретения профессионального опыта является разработка курсового проект.

Особенностью курсового проекта по дисциплине «Расчет и проектирование сварных соединений» является то, что в качестве объекта проектирования выбрана сварная стропильная ферма, относящаяся к опасным промышленным объектам - ***Строительные конструкции «п.1 – Металлические конструкции зданий и сооружений»***. В связи с этим, при выполнении курсового проекта (далее **КП**) используются не только учебные методики, но и нормативная документация, регламентирующая проектирование, изготовление и контроль качества сварных конструкций этого объекта.

В качестве вариантов проекта предлагается три типа сварных стропильных ферм с различными типами покрытия, геометрическими размерами и местами строительства. Для повышения эффективности обучения исходные данные проекта заданы как в явном, так и в неявном виде, что развивает практические навыки решения проектных задач. Этапы проектирования изложены в соответствующих разделах учебного пособия[1].

---

[1] С момента первого издания учебного пособия по курсовому проектированию (Мандров Б.И. Проектирование сварных конструкций: учеб. пособие/ Б.И. Мандров; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – 95 с., ил. ISBN 5-7568-0458-7) прошло 6 лет. За этот период произошли значительные изменения в нормативной документации, что потребовало переработки учебных материалов (исправления и дополнения).

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Согласно учебному плану направления 15.03.01 «Машиностроение», направленности (профиля) «Оборудование и технология сварочного производства» изучение дисциплины «Расчет и проектирование сварных соединений» заканчивается выполнением проекта сварной конструкции.

Основная цель проекта заключается в закреплении и систематизации знаний, полученных во время лекций и практических занятий, а также в приобретении навыков самостоятельного проектирования сварной металлоконструкции. Курсовой проект должен соответствовать требованиям [4, 5].

В качестве проектируемой металлоконструкции студентам предлагаются:

1. Ферма стальная стропильная сварная для промышленного здания с утепленной кровлей (раздел 3.3);
2. Ферма стальная стропильная сварная для промышленного здания с холодной кровлей (раздел 3/3).

Первый вариант задания используется для отапливаемых зданий, поэтому для защиты помещений от внешних климатических факторов и воздействий в состав кровли помимо гидроизоляционного слоя, входит утеплитель. Второй вариант задания используется для неотапливаемых зданий, поэтому для защиты помещений от внешних климатических факторов и воздействий в состав кровли входит только гидроизоляционный слой. Фермы в обоих заданиях выполняют функцию несущего элемента, воспринимающего нагрузку от всех составляющих кровли, а также самой фермы и передающего ее на нижерасположенные элементы каркаса здания.

Все варианты выдаваемых заданий отличаются друг от друга геометрическими размерами, конструкцией кровли и условиями эксплуатации. Это обусловливает особенности выполнения каждого задания и необходимость самостоятельного выполнения проекта. Схемы типов ферм приведены на рисунке 1.1.

Каждому студенту в первую неделю текущего семестра руководитель выдает задание на КП. В задании указываются

наименование объекта проектирования, его назначение, место строительства сооружения, основные размеры объекта, система решетки и тип фермы, тип покрытия и, объем, график выполнения и срок сдачи проекта.

При выполнении проекта на основе задания, справочной литературы и нормативной документации (далее **НД**) студенты должны самостоятельно определить нагрузки, действующие на ферму, и усилия, возникающие в ее стержнях, выбрать рациональные формы элементов фермы и их поперечные сечения, обеспечивающие, с одной стороны, необходимую несущую способность, а с другой - экономное использование материала. При этом предпочтение следует отдавать прогрессивным формам заготовок, новым методам расчета и материалам. Кроме того, студент должен рассчитать сварные соединения узлов ферм, спроектировать узлы фермы и проработать общий вид фермы.

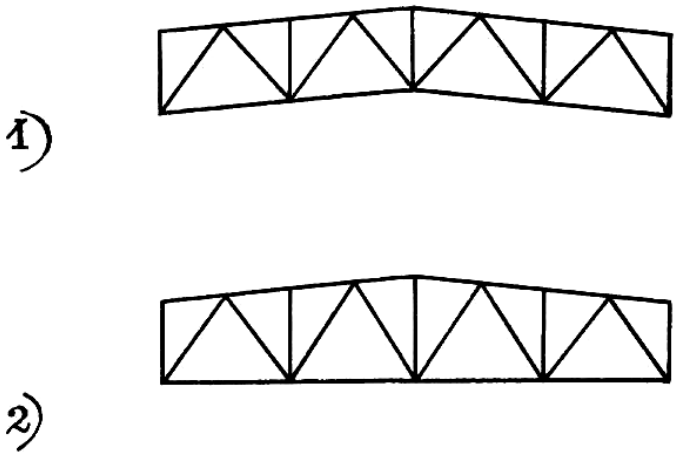


Рисунок 1.1 – Схемы сварных стропильных ферм для заданий на курсовой проект

2 ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Курсовой проект включает в себя расчетную часть, оформленную в виде пояснительной записки, и графическую часть, состоящую из чертежей сварной стропильной фермы и ее элементов, на 3 листах формата А1.

2.1 Пояснительная записка

Пояснительная записка является текстовым документом проекта, поэтому изложение материала должно быть строгим, последовательным и логичным, не допускающим неоднозначного толкования текста.

Пояснительная записка включает:

1) титульный лист;
2) содержание;
3) введение;
4) основную часть;
5) список использованных источников;
6) приложения (Приложение А – задание на проект; Приложение Б – спецификация и т. п.).

Титульный лист должен содержать информацию в соответствии с образцом, приведенным в приложении А.

В содержании указывается порядок следования разделов и их расположение. Слово **«Содержание»** записывается в виде заголовка симметрично тексту с прописной буквы.

Во введении указывается назначение проектируемой ферменной конструкции, ее составные элементы, подлежащие расчету, и факторы, определяющие последовательность и методику расчета сварной конструкции данного типа. Объем введения не более одной страницы.

В основной части должны найти отражение следующие вопросы:

1) технико-экономические показатели сварных ферм по сравнению с другими типами конструкций, применяемых в перекрытиях;
2) определение генеральных размеров фермы по заданной

длине пролета (длина и число панелей, высота фермы над колонной, угол наклона верхнего пояса к горизонту и т.д.);

3) выбор типа покрытия;

4) конструирование покрытия;

5) определение удельных действующих нагрузок всех типов: полезная нагрузка; нагрузка от самой фермы; прогонов, если они имеются; межферменных связей; каждой из составляющих покрытия;

6) определение размеров грузовых площадок, узловых нагрузок и реакций опор;

7) определение усилий в стержнях фермы;

8) подбор сечений поясов, раскосов, стоек, шпренгелей;

9) проектирование межферменных связей;

10) расчет прочности сварных швов в узлах;

11) проектирование узлов фермы;

12) проектирование сварной фермы;

Объем основной части не менее 80 % объема пояснительной записки.

На первом листе основной части приводится основная надпись формы 2, на остальных листах формы 2а (приложение Б).

*В **списке использованных источников*** приводятся сведения о всех источниках, расположенных в порядке ссылок в тексте записки или по алфавиту. Дается библиографическое описание каждого источника в соответствии с ГОСТ 7.1, ГОСТ 7.12.

В приложениях, приводятся:

Приложение А – задание на проект, выданное руководителем проекта;

Приложение Б – спецификация;

Приложение В - таблицы, иллюстрации, тексты программ, алгоритмы расчетов на ПК.

Оформление текста пояснительной записки проекта должно быть выполнено в соответствии с СТО 12 570 – 2013 [5].

2.2 Рекомендации по оформлению текста пояснительной записки курсового проекта

2.2.1 Текст пояснительной записки должен быть выполнен на одной стороне листа формата А4 (210х297 мм) с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ (ГОСТ 2.004) и использованием шрифта Times New Roman (допускается применение других аналогичных шрифтов). Пример оформления текста пояснительной записки приведен в приложении Д. Пояснения к приложению Д:

- шрифт 12 – при написании заголовков пунктов и текста;
- шрифт 12 - 14 – при написании заголовков подразделов;
- шрифт 14 - 16 – при написании заголовков разделов;
- межстрочный интервал текста – 1,15-1,5;
- интервал между строчкой заголовка раздела и подраздела, а также последней строчкой текста пункта и заголовком подраздела – одинарный + 12 пт.;
- интервал между строчкой заголовка подраздела и текста – одинарный + 6 пт.;
- интервал между последней строчкой текста и заголовком пункта, а также между заголовком пункта и текстом – полуторный (приложение Д).

2.2.2 Вписывать в текст пояснительной записки отдельные слова, формулы, условные знаки рукописным способом, а также выполнять иллюстрации, следует черными чернилами, пастой или тушью.

2.2.3 Опечатки, описки или графические неточности, обнаруженные в процессе выполнения пояснительной записки, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской с нанесением на том же месте исправленного текста (графика) машинописным способом или же черными чернилами, пастой или тушью рукописным способом.

Текст пояснительной записки, в том числе и всех приложений, оформляют на листах в рамке, выполненной чернилами, пастой или тушью черного цвета. ***При написании пояснительной записки с использованием программных средств рекомен-***

дуется помещать текст в рамку, выполненную с помощью компьютера.

2.2.4 Текст пояснительной записки оформляют на листах в рамке: поле слева – 20 мм, справа, сверху и снизу – 5 мм.

Расстояние от рамки до границ текста в начале и в конце строк - не менее 3 мм. ***При написании пояснительной записки с использованием программных средств рекомендуется производить выравнивание текста по ширине страницы***.

Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки должно быть не менее 10 мм. ***Рекомендуется использовать опцию «Разметка страницы», в которой устанавливается нужный интервал «До» и «После».***

Абзацы в тексте начинаются отступом 12,5 мм, см. приложение Д учебного пособия.

2.2.5 На листе пояснительной записки, следующим за титульным, выполняется основная надпись по форме 2 ГОСТ 2.104 (приложение Б).

На последующих листах оформляется основная надпись по форме 2а из указанного стандарта (приложение Б).

Допускается на последующих листах текста пояснительной записки применение упрощенной надписи (приложение Б).

2.3 Рекомендации по построению текста пояснительной записки

2.3.1 Текст пояснительной записки при необходимости разделяют на разделы, подразделы, пункты и подпункты.

2.3.2 Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего текста пояснительной записки, обозначенные арабскими цифрами без точки в конце номера. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. ***«Введение»***, ***«Содержание»***, ***«Заключение»***, ***«Список использованных источников»*** не нумеруются.

Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или

нескольких пунктов, а пункты из нескольких подпунктов.

2.3.3 Если документ не имеет подразделов, то нумерация пунктов в нем должна быть в пределах каждого раздела, и номер пункта должен состоять из номеров раздела и пункта, разделенных точкой. В конце номера пункта точка не ставится, например:

1 Критический обзор литературы

$\left.\begin{matrix}1.1\\1.2\end{matrix}\right\}$ Нумерация пунктов первого раздела документа

2 Технические требования

$\left.\begin{matrix}2.1\\2.2\end{matrix}\right\}$ Нумерация пунктов второго раздела документа

2.3.4 Если документ имеет подразделы, то нумерация пунктов должна быть в пределах подраздела и номер пункта должен состоять из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точками, например:

3 Методы испытаний

3.1 Аппараты, материалы, реактивы

$\left.\begin{matrix}3.1.1\\3.1.2\end{matrix}\right\}$ Нумерация пунктов первого подраздела третьего раздела документа

21.3.5 Если раздел или подраздел состоит из одного пункта, он также нумеруется.

2.3.6 Если текст пояснительной записки подразделяется только на пункты, они нумеруются порядковыми номерами в пределах пояснительной записки.

2.3.7 Пункты, при необходимости, могут быть разбиты на подпункты, которые должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта, например, 4.2.1.1, 4.2.1.2, 4.2.1.3 и т. д.

2.3.8 Количество номеров в нумерации структурных элементов пояснительной записки не должно превышать четырех.

2.3.9 Внутри пунктов или подпунктов могут быть приведены перечисления. Перед каждой позицией перечисления следует ставить дефис или, при необходимости ссылки в тексте на одно из перечислений, строчную букву, после которой ставится скобка. Для дальнейшей детализации перечислений необходимо ис-

пользовать арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится без заглавной буквы, как показано на примере.

Пример

а)_____

б)_____

1)_____

2)_____

в)_____

2.3.10 Каждый пункт, подпункт и перечисление записывают с абзацного отступа.

2.3.11 Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Пункты, как правило, заголовков не имеют.

2.3.12 Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов.

2.3.13 Заголовки не должны выполняться в конце листа, необходимо, чтобы за ними следовало несколько строк текста.

2.4 Рекомендации по изложению текста пояснительной записки

2.4.1 Полное наименование изделия, для которого выполняется КП, на титульном листе, в основной надписи и при первом упоминании в тексте записки должно быть одинаковым с наименованием его в основном конструкторском документе.

Наименование изделия должно соответствовать принятой терминологии и быть, по возможности, кратким. Наименование изделия записывают в именительном падеже единственного числа. В наименовании, состоящем из нескольких слов, на первом месте помещают имя существительное, например: «Станок фрезерный». В наименование изделия, как правило, не включают сведения о его назначении и местоположении.

В последующем тексте пояснительной записки порядок слов в наименовании должен быть прямой, т. е. на первом месте должно быть определение (имя прилагательное), а затем — наименование изделия (имя существительное).

Наименования, приводимые в тексте и на иллюстрациях, должны быть одинаковыми.

2.4.2 Текст пояснительной записки должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований.

В тексте пояснительной записки должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии — общепринятые в научно-технической литературе.

Если в пояснительной записке принята специфическая терминология, то в конце ее (перед списком литературы) должен быть перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями. Перечень включают в содержание пояснительной записки.

2.4.3 В тексте пояснительной записки не допускается:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;

- применять для одного и того же понятия научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

- применять произвольные словообразования;

- применять сокращения слов, не установленные правилами русской орфографии или государственными стандартами (ГОСТ 2. 316-2008);

- сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр, за исключением единиц физических величин в головках и боковиках таблиц и в расшифровках буквенных обозначений, входящих в формулы и рисунки.

2.4.4 В тексте пояснительной записки, за исключением формул, таблиц и рисунков, не допускается:

- применять математический знак (–) перед отрицательными значениями величин (следует писать слово «минус»);

- применять знак «∅» для обозначения диаметра (следует писать слово «диаметр»). При указании размера или предельных отклонений диаметра на чертежах, помещенных в тексте пояс-

нительной записки, перед размерным числом следует писать знак «∅»;

- применять без числовых значений математические знаки, например, > (больше), < (меньше), = (равно), ≤ (меньше или равно), ≥ (больше или равно), ≠ (не равно), а также знаки № (номер), % (процент);

- применять индексы стандартов, технических условий и других документов без регистрационного номера.

2.4.5 Запись **единиц физических величин**. В пояснительной записке следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения в соответствии с ГОСТ 8.417

Наряду с единицами СИ, при необходимости, в скобках указывают единицы ранее применявшихся систем, разрешенных к применению. Применение в одном документе разных систем обозначения физических величин не допускается.

Внимание! По ГОСТ 8.417 обозначения единиц физических величин не допускает называть размерностями.

2.4.6 Числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета следует писать цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти - словами.

Примеры

1 Провести испытания пяти труб, каждая длиной 5 м.

2 Отобрать 15 труб для испытаний на давление.

2.4.7 Единица физической величины одного и того же параметра в пределах всей записки должна быть постоянной. Если в тексте приводится ряд числовых значений, выраженных в одной и той же единице физической величины, то ее указывают только после последнего числового значения, например, 1,50; 1,75; 2,00 м.

При указании значений величин с предельными отклонениями следует заключать числовые значения с предельными отклонениями в скобки и обозначение единицы помещать после скобок или проставлять обозначения единиц после числового зна-

чения величины и после предельного отклонения, например, (1000±50) °С или 1000 °С±50 °С.

2.4.8 Если в тексте приводится диапазон числовых значений физической величины, выраженных в одной и той же единице физической величины, то обозначение единицы физической величины указывается после последнего числового значения диапазона.

Примеры

1 От 1 до 5 мм.

2 От плюс 10 до минус 40 °С.

Если интервал чисел охватывает порядковые номера, то для записи интервала используют тире.

Пример - ... рисунки 1 - 14.

Буквенные обозначения единиц должны печататься прямым шрифтом, что позволяет легко отличить их от обозначений физических величин, которые по международным соглашениям всегда печатаются наклонным шрифтом (курсивом).

В обозначениях единиц точку как знак сокращения не ставят.

К обозначениям единиц и к их наименованиям нельзя добавлять буквы (слова), указывающие на физическую величину или на объект, например, нм^3 (нормальный кубический метр). Определяющие слова следует присоединять к наименованию величины, а единицу обозначать в соответствии со стандартом. Например, объем газа, приведенный к нормальным условиям, 10 м^3, масса условного топлива 100 т и т. д.

Буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, следует отделять точками на средней линии, как знаками умножения, например, н·м; Вт/(м^2·К).

В буквенных обозначениях отношений единиц в качестве знака деления должна применяться только одна черта: косая или горизонтальная. При применении косой черты обозначения единиц в числителе и знаменателе следует помещать в строку, произведение обозначений в знаменателе необходимо заключать в скобки.

Обозначения единиц следует применять после числовых значений величин и помещать в строку с ними, без переноса на

следующую строку. Между последней цифрой числа и обозначением единицы оставляется пробел, равный минимальному расстоянию между словами. Пробел не оставляют, если в виде обозначения используется знак, поднятый над строкой, например, 20°, но 20 °С.

Обозначения единиц физических величин следует применять после числовых значений величин и помещать в строку с ними. Между последней цифрой числа и обозначением единицы следует оставлять пробел, равный минимальному расстоянию между словами. Пробел не оставляют, если в виде обозначения используется знак, поднятый над строкой, например, 20°, но 20 °С.

2.4.9 Числовые значения величин в тексте следует указывать со степенью точности, которая необходима для обеспечения требуемых свойств изделия, при этом в ряду величин осуществляется выравнивание числа знаков после запятой.

Округление числовых значений величин до первого, второго, третьего и т. д. десятичного знака для различных типоразмеров, марок и т. п. изделий одного наименования должно быть одинаковым.

2.4.10 Дробные числа необходимо приводить в виде десятичных дробей. При невозможности выразить числовое значение в виде десятичной дроби, допускается записывать в виде простой дроби в одну строку через косую черту, например, 5/32; (50А-4С) / (40В+20).

2.4.11 Написание **формул и уравнений**. В формулах в качестве символов следует применять обозначения и наименования, установленные соответствующими государственными стандартами. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

2.4.12 Переносить формулы на следующую строку допуска-

ется только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак «×».

2.4.13 В расчетах перед каждой формулой записывается наименование рассчитываемой величины. Формулы записываются в символах, затем знаки равенства, затем числовые значения этих символов и конечный результат. Промежуточные расчеты не приводятся. Числовые значения величин должны занимать место, которое занимают в формуле соответствующие символы.

При расчете величин, определяемых сложными формулами, в состав которых входят параметры, требующие предварительного расчета, рекомендуется вначале записать и определить все эти параметры в последовательности, исключающей многоступенчатость в промежуточных расчетах, а затем привести формулу и расчет искомой величины.

2.4.14 Формулы, за исключением формул, помещаемых в приложении, должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках.

Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например, ... в формуле (1).

Формулы, помещенные в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например, формула (В.1).

Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, которые разделены между собой точкой, например, (3.1).

2.4.15 Порядок изложения математических уравнений такой же, как и формул.

2.4.16 Написание **примечаний**. Примечания в пояснительной записке приводятся, если необходимы пояснения или справочные данные к содержанию текста, таблиц или графического материала.

Примечания следует помещать непосредственно после текстового, графического материала или в таблице, к которым относятся эти примечания, и печатать с прописной буквы с абзаца. Если примечание одно, то после слова «Примечание» ставится тире и примечание печатается тоже с прописной буквы. Одно примечание не нумеруют. Несколько примечаний нумеруют по порядку арабскими цифрами. При этом после слова «Примечания» не ставят двоеточие. Примечание к таблице помещают в конце таблицы над линией, обозначающей окончание таблицы.

Примеры

Примечание — _____

Примечания

1 _____

2 _____

2.4.17 На материалы, взятые из литературы и других источников (утверждения, формулы, цитаты и т.п.), должны быть даны ссылки с указанием номера по списку использованных источников. Номер ссылки проставляется арабскими цифрами в квадратных или косых скобках. Допускаются ссылки на данный документ, стандарты, технические условия и другие документы при условии, что они полностью и однозначно определяют соответствующие требования и не вызывают затруднений в пользовании документом.

Ссылаться следует на документ в целом или его разделы и приложения. Ссылки на подпункты, пункты, таблицы и иллюстрации не допускаются, за исключением подразделов, пунктов, таблиц и иллюстраций данной пояснительной записки.

При ссылках на стандарты и технические условия указывают только их обозначение, при этом допускается не указывать год их утверждения.

2.4.18 Оформление **иллюстраций.** Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста.

Все иллюстрации именуются рисунками и располагаются так, чтобы их удобно было рассматривать без поворота пояснительной записки или с поворотом по часовой стрелке. Иллю-

страции следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются, или на следующей странице.

Иллюстрации должны, выполнены в соответствии с требованиями ЕСКД. Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1».

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например, Рисунок А.3.

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, которые разделены между собой точкой, например, Рисунок 1.1.

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом:

Рисунок 1 - Детали прибора

2.4.19 Оформление **приложений.** Материал, дополняющий текст записки, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ и т. д.

Приложение оформляют как продолжение записки на последующих ее листах, после списка использованных источников, или в виде отдельного тома.

В тексте записки на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте пояснительной записки.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение»

полужирным шрифтом, записанное строчными буквами с первой прописной, и его обозначения.

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой, под словом «Приложение» с обозначением. Заголовок печатают строчными буквами с первой прописной и выделяют полужирным шрифтом.

Приложения, как правило, выполняют на листах формата А4. Допускается оформлять приложения на листах формата А3, А4х3, А4×4, А2 и А1 по ГОСТ 2.301.

Текст каждого приложения, при необходимости, может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения.

Приложения должны иметь общую с остальной частью пояснительной записки сквозную нумерацию страниц.

Все приложения должны быть перечислены в содержании пояснительной записки с указанием их номеров и заголовков.

2.4.20 Построение **таблиц.** Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название следует помещать над таблицей, через тире после номера таблицы.

При переносе части таблицы на ту же или другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в документе одна таблица, она должна быть обозначена «Таблица 1» или «Таблица В.1», если она приведена в приложении В.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных между собой точкой.

На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте записки; при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы, а подзаголовки граф — со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят. Заголовки и подзаголовки граф указывают в единственном числе.

Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями.

Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается.

Горизонтальные и вертикальные линии, разграничивающие строки таблицы, допускается не проводить, если их отсутствие не затрудняет пользование таблицей.

Заголовки граф, как правило, записывают параллельно строкам таблицы. При необходимости допускается перпендикулярное расположение заголовков граф.

Головка таблицы должна быть отделена линией от остальной части таблицы.

Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости, в приложении к документу.

Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа пояснительной записки.

Если строки или графы таблицы выходят за формат страницы, ее делят на части, помещая одну часть под другой или рядом, при этом в каждой части таблицы повторяют ее головку и боковик. При делении таблицы на части допускается ее головку или боковик заменять соответственно номером граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки первой части таблицы.

Слово «Таблица» указывают один раз ***слева*** над первой частью таблицы, над другими частями пишут слова «Продолжение

таблицы» с указанием номера (обозначения) таблицы. При подготовке текста с использованием программных средств надпись «***Продолжение таблицы N.N» допускается не указывать***.

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, в первой части таблицы нижнюю горизонтальную линию, ограничивающую таблицу, допускается не проводить.

Таблицы с небольшим количеством граф допускается делить на части и помещать одну часть рядом с другой на одной странице, при этом повторяют головку таблицы.

Графу «Номер по порядку» в таблицу включать не допускается. Нумерация граф таблицы арабскими цифрами допускается в тех случаях, когда в тексте пояснительной записки имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

При необходимости нумерации показателей, параметров или других данных порядковые номера следует указывать в первой графе (боковике) таблицы непосредственно перед ее наименованием.

Если все показатели, приведенные в графах таблицы, выражены в одной и той же единице физической величины, то ее обозначение необходимо помещать над таблицей справа, а при делении таблицы на части – над каждой ее частью.

Обозначение единицы физической величины, общей для всех данных в строке, следует указывать после ее наименования. Допускается при необходимости выносить в отдельную строку (графу) обозначение единицы физической величины.

Если в графе таблицы помещены значения одной и той же физической величины, то обозначение единицы физической величины указывают в заголовке (подзаголовке) этой графы.

Заменять кавычками повторяющиеся в таблице цифры, математические знаки, знаки процента и номера, обозначение марок материалов и типоразмеров изделий, обозначения нормативных документов не допускается.

При отсутствии отдельных данных в таблице следует ставить прочерк (тире).

В интервале, охватывающем числа ряда, между крайними числами ряда в таблице допускается ставить тире.

2.4.21 Оформление **сносок.** Если необходимо пояснить отдельные данные, приведенные в записке, то эти данные следует обозначать надстрочными знаками сноски.

Сноски в тексте располагают с абзацного отступа в конце страницы, на которой они обозначены, и отделяют от текста короткой тонкой горизонтальной линией с левой стороны, а к данным, расположенным в таблице, в конце таблицы над линией, обозначающей окончание таблицы.

Знак сноски ставится непосредственно после того слова, числа, символа, предложения, к которому дается пояснение, и перед текстом пояснения. Знак сноски выполняют арабскими цифрами со скобкой и помещают на уровне верхнего обреза шрифта.

Пример — «... печатающее устройство[2)] ...»

Нумерация сносок отдельная для каждой страницы.

Допускается вместо цифр обозначать сноски звездочками - *, которых должно быть не более четырех.

2.5 Графическая часть проекта

Графическая часть проекта включает в себя 3 листа чертежей формата А1.

На первом листе вычерчиваются:

1) геометрическая схема фермы;
2) схема приложения узловых нагрузок к ферме;
3) диаграмма Максвелла - Кремоны;
4) таблица усилий в элементах фермы и расчетные данные по подбору сечений элементов фермы;
5) аксонометрическая схема всего перекрытия с показом всех ферм, связей и т.д. (для наглядности различные элементы следует выделять цветом).

На втором листе вычерчивается общий вид фермы.

На третьем листе вычерчиваются конструкции узлов фермы, указанных руководителем проекта.

Распределение материалов на листах в каждом отдельном случае уточняется с руководителем проекта в зависимости от характера задания.

Все листы проекта должны быть плотно заполненными. Если чертеж конструкции не помещается на листе формата А1, то следует использовать большие форматы чертежей.

Масштаб общего вида и узлов конструкции должен быть выбран таким, чтобы чертеж обладал достаточной наглядностью. Наиболее ходовыми масштабами из числа рекомендуемых являются: 1:10, 1:20, 1:25, 1:50, 1:75, 1:100 для общего вида и 1:2, 1:5, 1:10 - для узлов и деталей. Если на одном листе приводятся общий вид фермы и отдельные узлы или детали, масштабы их изображения должны быть различными.

Чертеж общего вида фермы снабжается габаритными размерами, а также размерами, необходимыми для монтажа конструкции. Размеры на узловых чертежах проставляются с таким расчетом, чтобы по ним можно было произвести сборку и сварку узла.

Вся графическая часть проекта вычерчивается простым карандашом в соответствии с требованиями [1], а межфирменные связи на аксонометрической проекции – цветными карандашами.

Основная надпись на листах чертежей должна быть выполнена согласно форме 1 (приложение Б).

2.6 Правила оформления графических документов

2.6.1 Общие положения

К графическим документам КП относятся чертежи, эскизы и схемы изделий, графики, таблицы обработки экспериментальных материалов.

Содержание листов в графических частях бакалаврской работы определяется заданием на ее выполнение. Согласно СТО 12400-2015 п.9.2 рекомендуемый общий объем графических документов должен составлять не менее 2 листов формата А1 (841×594 мм).

Графические документы следует выполнять с применением

графических устройств вывода ЭВМ.

Графические документы должны быть выполнены на стандартных форматах с основной надписью по ГОСТ 2.104, ГОСТ 2.109 ГОСТ 21.101 в правом нижнем углу. Формы основной надписи для чертежей приведены в приложении В настоящего учебного пособия, там же, в приложении Г, приведены примеры заполнения основных надписей. Наименование изделия в основной надписи чертежа, как и на титульном листе пояснительной записки работы, записывают в именительном падеже единственного числа. В наименовании, состоящем из нескольких слов, на первом месте помещают имя существительное.

2.6.2 Правила оформления графических документов

При выполнении чертежей, схем, эскизов должны быть соблюдены правила, установленные государственными стандартами ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД, СПДС.

2.6.2.1 Оформление чертежей (формат, масштаб, чертежные шрифты, линии) должно выполняться согласно ГОСТ 2.301, ГОСТ 2.302, ГОСТ 2.303, ГОСТ 2.304. Изображения (виды, разрезы, сечения) должны быть выполнены согласно ГОСТ 2.305. Нанесение размеров и предельных отклонений, обозначение допусков и посадок необходимо выполнять в соответствии с ГОСТ 2.307, ГОСТ 25346, ГОСТ 25347. Указания предельных отклонений формы и расположения поверхностей должны соответствовать ГОСТ 2.308. Обозначения шероховатости поверхностей на рабочих чертежах деталей – согласно ГОСТ 2.309. Нанесение на чертежах покрытий, термической и других видов обработки – по ГОСТ 2.310. Обозначение швов сварных соединений и условные изображения – по ГОСТ 2.312, спецификации – по ГОСТ 2.106 для машиностроительных чертежей, нанесение надписей на чертежах – по ГОСТ 2.316.

2.6.2.2 Чертежи общего вида на стадии эскизного и технического характера должны выполняться в соответствии с требованиями ГОСТ 2.119 и ГОСТ 2.120 с присвоением в обозначении пояснительной записки шифра «ВО». Наименование и обозначение составных частей изделия (экспликация) указывают в

таблице, размещаемой на поле чертежа или на отдельных листах формата А4.

Чертеж общего вида – это документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его основных частей и поясняющий принцип работы изделия.

2.6.2.3 Обозначение сборочного чертежа и его спецификации должно быть одинаковым. Для различия чертежа и спецификации сборочному чертежу присваивается шифр «СБ», проставляемый в конце обозначения, а спецификации шифр не присваивается. Сборочному чертежу, совмещенному со спецификацией, шифр не присваивается.

2.6.2.4 При выборе вида и типа схем необходимо руководствоваться ГОСТ 2.701, который определяет общие требования к их выполнению. Схемы должны выполняться в соответствии с действующими стандартами (ГОСТ 2.702, ГОСТ 2.703, ГОСТ 2.704, ГОСТ 2.710 ГОСТ 2.721, ГОСТ 2.747 и др.).

2.6.2.5 Иллюстративный материал, оформляемый отдельно от пояснительной записки (в виде диаграмм, схем, плакатов, таблиц, графиков), должен иметь наименование и выполняться на чертежной бумаге с рамкой без основной надписи и отвечать требованиям наибольшей наглядности, свободно просматриваться с расстояния (3 - 3.5) м.

Наименование иллюстративного материала пишется чертежным шрифтом над изображением.

Плакаты должны выполняться в соответствии с требованиями ГОСТ 2.605, модели и макеты – в соответствии с требованиями ГОСТ 2.002.

Схемы алгоритмов и программ выполняются в соответствии с ГОСТ 19.701.

2.6.3 Правила оформления изображений на чертежах

Изображения на чертежах должны быть выполнены согласно ГОСТ 2.305-2008.

К изображениям относятся: виды, разрезы, сечения и выносные элементы. Количество изображений должно быть наименьшим, но достаточным для полного представления о проектируемом устройстве.

Названия разрезов (продольный разрез, поперечный разрез, горизонтальный разрез) и их условные буквенные обозначения, написанные ниже названия (А-А, Б-Б и т.д.), пишутся над изображением симметрично разрезу, без подчеркивания.

При этом на других изображениях (других проекциях) должны указываться секущие плоскости путем нанесения разомкнутых линий со стрелками, указывающими направление взгляда на сечение. У стрелок (снаружи) ставят одну и ту же прописную букву русского алфавита: А...А, Б...Б и т.д. Буквенные обозначения разрезам присваивают в алфавитном порядке без повторения и, как правило, без пропусков букв. При сложных разрезах наносятся места перехода от одной секущей плоскости к другой. Стрелки должны наноситься на расстоянии 2-3 мм от внешнего конца штриха. Начальный и конечный штрих не должны пересекать контур соответствующего изображения. Название видов на чертежах подписывать не следует, если они находятся в непосредственной проекционной связи (на одном листе с главным видом).

Если чертеж изделия выполнен на двух и более листах, то дополнительные изображения отмечают путем указания номеров листов, на которых эти изображения помещены, например,

$A_{(3)} \downarrow \downarrow A_{(3)}$ (разрез А-А размещен на третьем листе чертежа). В этих случаях над дополнительными изображениями у их обозначения указывают номера листов, на которых дополнительные изображения отмечены, например, $А\text{-}А_{(1)}$ (разрез А-А отмечен на первом листе чертежа).

2.6.4 Правила оформления текстовых частей чертежей и таблиц

Кроме изображения предмета с размерами, чертеж может в соответствии с ГОСТ 2.316 содержать:

- текстовую часть, состоящую из технических требований и (или) технических характеристик;
- надписи с обозначением изображений, а также относящиеся к отдельным элементам изделия;
- таблицы с размерами и другими параметрами, техническими требованиями, условными обозначениями и т.д.

Текстовую часть, надписи и таблицы включают в чертеж в тех случаях, когда содержащиеся в них данные, указания и разъяснения невозможно или нецелесообразно выразить графически или условными обозначениями.

Текст на поле чертежа, таблицы, надписи с обозначением изображений, как правило, располагают параллельно основной надписи чертежа.

Текстовую часть, помещенную на поле чертежа, располагают над основной надписью. Между текстовой частью и основной надписью не допускается помещать изображения, таблицы и т.д. Текст можно размещать в одну, две и более колонок; ширина одной колонки не должна быть больше 185 мм.

Пункты технических требований должны быть со сквозной нумерацией; каждый пункт записывают с новой строки; заголовок «Технические требования» не пишут.

В случае необходимости указать техническую характеристику изделия, ее размещают отдельно от технических требований, с самостоятельной нумерацией пунктов, на свободном поле чертежа под заголовком «Техническая характеристика». При этом и над техническими требованиями помещают заголовок «Технические требования». Оба заголовка не подчеркиваются.

2.7 Организационные вопросы проектирования

2.7.1 Выполнение проекта

На выполнение курсового проекта, включая его защиту, студентам дневного обучения отводится 17 недель. Для того чтобы выполнить проект в срок, студент должен правильно спланировать ход своей работы. Определенную помощь в этом ему может оказать разбивка периода проектирования на отдельные этапы. Рекомендуется производить разбивку на 6 этапов:

1-й этап. Ознакомление с заданием, методическим пособием, подбор литературы и выполнение расчетов в черновике – 20 дней.

2-й этап. Вычерчивание листа N 1 «Схемы и диаграммы»- 15 дней.

3-й этап. Вычерчивание листа N 3 «Узлы фермы» - 25 дней.

4-й этап. Вычерчивание листа N 2 «Общий вид фермы» – 25 дней.

5-й этап. Окончательное оформление пояснительной записки –15 дней.

6-й этап. Окончательная проверка листов проекта и пояснительной записки руководителем и защита проекта – в последние 20 дней семестра. Сроки выполнения расчетной и графической частей указаны в задании на проект.

Для оказания помощи студентам руководителем проекта проводятся регулярные консультации из расчета норм времени на курсовое проектирование. Расписание консультаций сообщают студентам при выдаче заданий на проект.

2.7.2 Защита проекта

Защита законченного и подписанного студентом и руководителем проекта производится в сроки указанные в задании на проект. Незаконченные и неподписанные проекты к защите не принимаются.

Дни защиты курсовых проектов устанавливает кафедра.

На защите проекта студент делает 5 – 7 минутный доклад, в котором должно быть изложено содержание и отмечены основные особенности проекта, после чего комиссия выявляет:

1) степень полноты и оригинальность решения проекта;
2) качество его графической части;
3) недостатки проекта;
4) уровень знаний проектанта и владения им методикой расчета сварных конструкций.

На основании защиты комиссия выставляет студенту дифференцированную оценку за выполнение проекта.

При выявлении на защите непринципиальных ошибок кафедра по представлению комиссии может назначить повторную защиту проекта.

3 СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ФЕРМЫ

3.1 Конструктивные особенности ферм

3.1.1 Выбор геометрических параметров фермы

Очертание фермы, схема решетки, длина фермы, шаг колонн и длина сооружения в целом оговариваются в задании на курсовой проект. При этом ориентация задания сделана на единую модульную систему и промышленные методы изготовления ферм.

При назначении генеральных размеров фермы основным направлением является унификация размеров, показанная на рисунке 3.1.

В качестве основного размера модуля принимается значение М = 100 мм. При этом планировочные размеры сооружения выбирают кратными производным модулям 3М, 6М, 12М, 30М, 60М и т.д.

Ширина пролета (длина фермы *l*), шаг колонн (длина сооружения) берутся кратными 60М, а длины панелей верхнего d и нижнего d_1 поясов – кратными 15М.

Высота фермы над колонной h_0 зависит от очертания поясов фермы. Для трапецеидальных ферм, независимо от длины фермы, h_0 = 2200 мм. Для ферм с параллельными поясами h_0 = 3150 мм при длине фермы от 24 м до 60 м.

Длина панели верхнего пояса d определяется системой кровельного покрытия. Если по строительным фермам укладывают прогоны, то длина панели, равная расстоянию между прогонами, определяется видом кровельного материала. При этом длина панели принимается равной 1,5; 3 м и должна соответствовать длине кровельного материала за вычетом участка перекрытия листов (исключение составляет стальной профилированный настил).

Если покрытие беспрогонное, то длина панели равна, ширине железобетонной плиты (1,5 или 3 м).

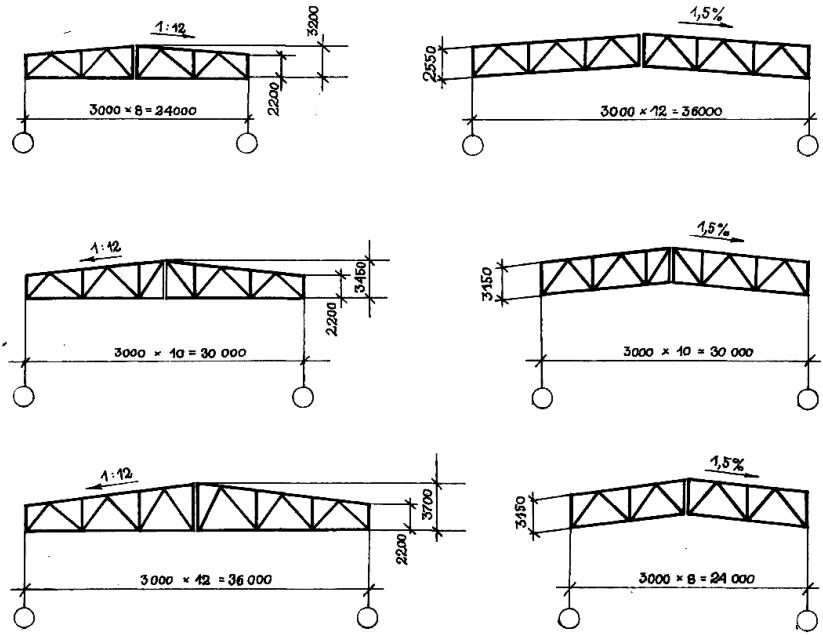


Рисунок 3.1 – Унифицированные фермы

Другие, отличные от вышеуказанных, значения длины панели верхнего пояса должны быть согласованы с руководителем проекта до начала расчетов геометрических характеристик фермы.

Длина панели нижнего пояса d_1 определяется системой решетки фермы и длиной панели верхнего пояса. Если значение длины панели верхнего пояса взято из унифицированного ряда, то d принимается равной 1,5, 3 или 6 м.

Углы наклона раскосов в треугольной решетке должны быть близкими к значению 45°, в раскосной решетке – 35°.

Длины крайних панелей верхнего и нижнего поясов при конструировании фермы могут быть уменьшены в зависимости от принимаемой схемы крепления фермы к колонне, от схемы

привязки колонн к разбивочным осям сооружения и от высоты профиля колонны в соответствии с рисунком 3.2.

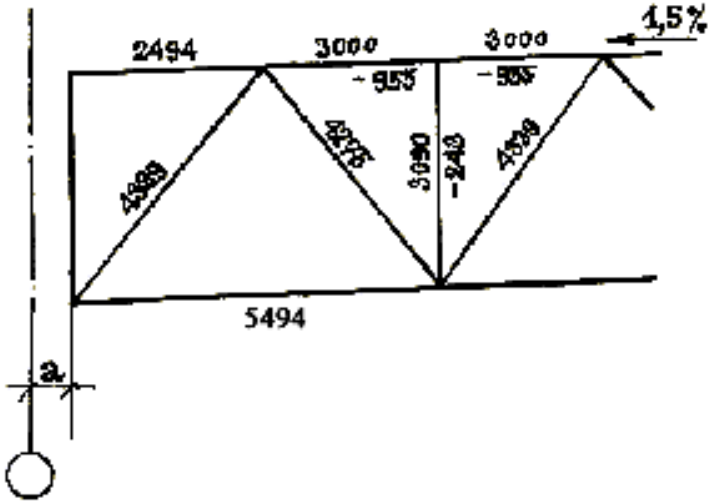


Рисунок 3.2 – К определению длины крайних панелей фермы:
а – величина уменьшения панелей

Крепление фермы к колоннам может производиться по двум схемам – сверху и сбоку в соответствии с рисунком 3.3. При креплении сверху расход металла и жесткость фермы возрастают; однако при креплении фермы сбоку снижаются требования к точности ее изготовления, что весьма важно при монтаже фермы. Второй вариант крепления базируется на том, что роль опорной стойки выполняет колонна, при этом ось колонны не совпадает с осью опорной стойки фермы.

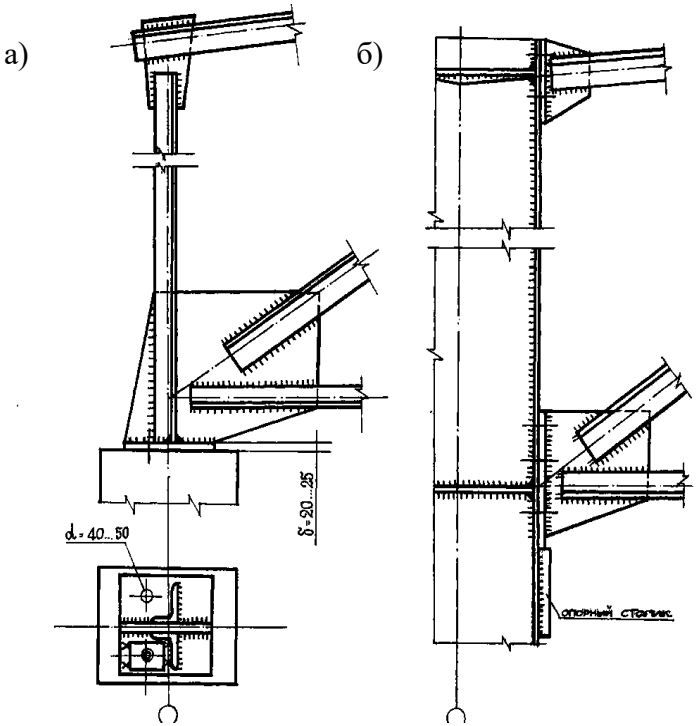


Рисунок 3.3 – Крепление фермы к колонне:
а – сверху; б – сбоку

Привязка колонн к разбивочным осям может быть «нулевой», 250 мм и 500 мм в соответствии с рисунком 3.4. При «нулевой» привязке наружная грань колонны совмещается с разбивочной осью, поэтому колонна «выдвигается» в первую и последнюю панели фермы на высоту ее профиля при креплении сбоку или на половину высоты – при креплении сверху.

При привязках 250 и 500 мм наружная грань колонны выходит за разбивочную грань соответственно на указанный размер, что уменьшает выдвижение колонны в первую и последнюю панели фермы по сравнению с «нулевой» привязкой.

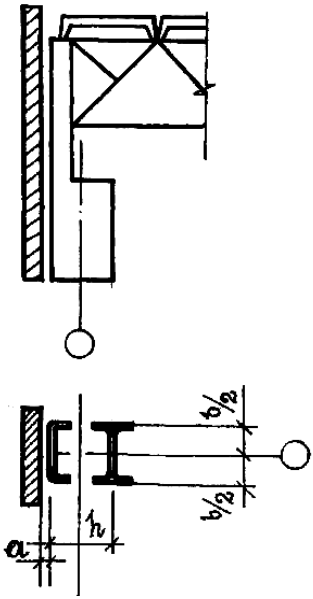


Рисунок 3.4 – Привязка колонн к разбивочным осям:
а – размер привязки; h – высота профиля колонны

Выбор типа привязки определяется размерами сооружения, грузоподъемностью крана и шагом колонн. «Нулевая» привязка принимается в конструкциях без мостовых кранов, а также в невысоких сооружениях (при шаге колонн 6 м) с кранами грузоподъемностью не более 30 т. Привязку a = 500 мм применяют для цехов с кранами грузоподъемностью более 100 т. В остальных случаях используют привязку a = 250 мм.

Высота профиля колонны определяется либо расчетным путем, либо задается руководителем проекта, либо выбирается студентом самостоятельно из диапазона от 450 до 700 мм, после чего согласовывается с руководителем.

3.1.2 Строительный подъем (уклон)

Строительный подъем необходимо задать ферме для предотвращения ее провисания под нагрузкой и для создания

уклона водостока. Уклон фермы *i* зависит от устройства кровли: при кровле из рулонных материалов *i* = от 1,5 % до 5 % (унифицированный уклон составляет 1,5 %); при кровле из листовых профилированных материалов – от 10 до 25 %. Для нормальной эксплуатации покрытия рекомендуются следующие значения уклона:

а) рулонная кровля – 1,5 %

б) асбоцементные волнистые листы:

- без уплотнения стыков ≥ 25 %
- с уплотнением стыков ≥ 16 %
- в районах с жарким и сухим климатом ≥ 8 %

в) стальной профилированный настил ≥ 15 %

г) стальные листы с заваркой стыков ≤ 8 %.

3.1.3 Определение геометрических размеров элементов фермы

Для определения геометрических размеров элементов фермы необходимо знать:

а) длину фермы *l*, мм;

б) высоту фермы над колонной h_0 мм;

в) систему решетки фермы;

г) строительный уклон (подъем) *i*, %;

д) длина панелей верхнего *d*, мм и нижнего d_1, мм поясов.

Длина фермы соответствует ширине пролета сооружения, начальная высота фермы над колонной и систему решетки фермы указаны в исходных данных курсового проекта. Строительный уклон принимается в соответствии с типом покрытия, указанном в исходных данных. Для рулонного покрытия (теплая и холодная с ж/б плитами и теплая по прогонам со стальным профилированным настилом) – от 1,5 до 3 %, для холодной по прогонам со стальным профилированным настилом – 15 %. Длина панелей верхнего *d*, мм и нижнего d_1, мм поясов выбирается студентом самостоятельно из рекомендованных значений при типовом проектировании. Длина панелей верхнего пояса может быть либо 1500 мм, либо 3000 мм. Соответственно нижнего пояса либо 3000 мм, либо 6000 мм.

По величине уклона и длине фермы определяют максимальную высоту фермы.

Используя теоремы соотношения углов и сторон в треугольниках (теоремы синусов, косинусов, Пифагора), определяют длины раскосов и стоек, а также значения углов.

3.1.4 Связи жесткости по покрытию и расчетные длины элементов фермы

Элементы каркаса здания объединяют связями в единую пространственную конструкцию, способную воспринимать горизонтальные нагрузки атмосферного и технологического характера. Для этого в покрытии устанавливаются жесткие блоки, объединяющие смежные фермы с помощью вертикальных и горизонтальных связей. Такие блоки размещают в торцах здания или температурного отсека. Если размеры здания или температурного отсека превышают величину 144 м, жесткие блоки ставят с шагом не более 72 м.

Предельные размеры температурных блоков приведены ниже, в таблице 3.1 (размеры в скобках даны для зданий, эксплуатируемых при расчетных зимних температурах наружного воздуха от - 40 до - 65 °С).

Каждый температурный отсек имеет самостоятельную систему связей покрытия. Она состоит из горизонтальных связей в уровнях верхнего и нижнего поясов фермы и вертикальных связей.

Таблица 3.1 – Предельные размеры температурных блоков зданий в метрах

Характеристика здания	Стальной каркас		Смешанный каркас (ж/б колонны)	
	Длина блока вдоль здания	Ширина блока поперек здания	Длина блока вдоль здания	Ширина блока поперек здания
Отапливаемое	230 (160)	150 (110)	65	65
Неотапливаемое	200 (140)	120 (90)	45	45

Горизонтальные поперечные связи по верхнему поясу устанавливают в торцах здания (температурного отсека). При длине температурного отсека боле 144 м устанавливают промежуточные связевые фермы. Если в покрытии используются железобетонные плиты или стальной профилированный настил, горизонтальные связевые фермы по верхнему поясу могут отсутствовать, а на период монтажа устанавливают монтажные связи. Средние фермы связывают между собой распорками и растяжками по коньку и колоннам.

По нижнему поясу могут устанавливаться поперечные и продольные связевые фермы, и распорки. Продольные связевые фермы назначают в зданиях с тяжелым режимом работы кранов, с наличием продольного фахверка, подстропильных ферм (их применение нужно согласовывать с руководителем проекта). В остальных случаях продольные фермы не устанавливают. Поперечные связевые фермы нижнего и верхнего поясов аналогичны по конструкции - крестообразные или раскосные. Распорки по нижнему поясу устанавливают по рядам полок, растяжки - в пролетах до 36 м в плоскости вертикальной связи в середине пролета или ближайшей к середине.

Вертикальные связи в жестком блоке размещают по кольцу и крайним стенкам ферм. Если в покрытии используются железобетонные плиты или стальной профилированный настил, то верхние связевые фермы устанавливают с шагом 6 м.

Для связей рекомендуются горячекатаные уголки с крестообразным расположением профилей следующих сечений:

Распорки:

- распорки – от 80×6 до 140×10;
- раскосы – от 110×8 до 125×8;
- для подфонарных связей – 80×7;

Растяжки:

- при шаге колонн 6 м – 63×5, 75×5;
- при шаге колонн 12 м – 75×5, 100×7.

При конструировании связей нужно:

- крепить связи к элементам ферм без фасонок;

- обеспечить центровку узлов, смещение центров от 200 до 300 мм;

- исключить выход связей за габариты поясов;

- вертикальные полки связей направлять вовнутрь габарита стропильной конструкции.

Схемы постановки связей жесткости и узлы их сопряжения с элементами ферм следует выполнять в соответствии с рисунком 3.5.

После решения вопроса о связях жесткости определяют расчетные длины элементов фермы. Их назначают в соответствии с рекомендациями таблицы 3.2.

Таблица 3.2 – Расчетные длины плоских ферм

Направление продольного изгиба стержня	Расчетная длина, см		
	Поясов	Опорных раскосов и стоек	Промежуточных раскосов и стоек
В плоскости фермы	***l***	***l***	***0,8·l***
Из плоскости фермы	l_1	***1***	***l***

Примечание: l - геометрическая длина элемента; l_1 - расстояние между узлами, закрепленными от смещения из плоскости фермы

Расчетные длины необходимо знать для подбора сечений элементов ферм.

3.2 Материалы и типы поперечных сечений элементов стропильных ферм

Согласно СП 16.13330.2017 [6] сжатые элементы сварных стропильных ферм, изготавливаемые из парных уголков, относятся к **третьей** группе стальных конструкций. Для них коэффициент условий работы (γ_c) принимает значение γ_c=0,8. Фасонки относятся к **первой** группе стальных конструкций, а растянутые элементы фермы ко **второй** группе. Коэффициент условий работы для вышеперечисленных групп принимает значение γ_c=1,0.

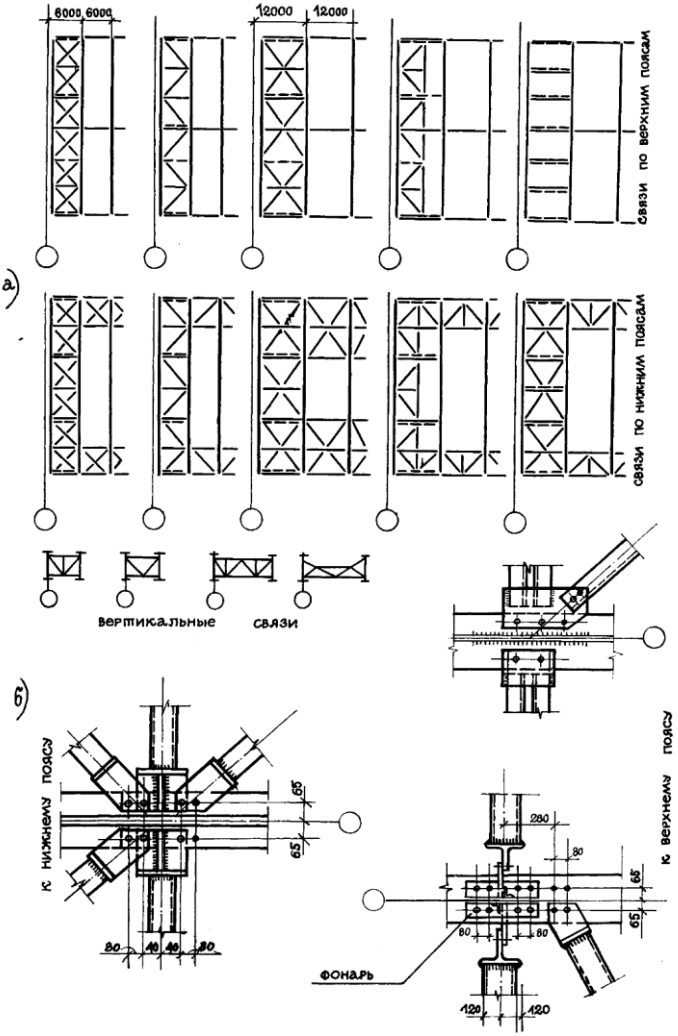


Рисунок 3.5 - Схемы постановки связей жесткости и узлы их крепления к фермам: а – схемы связей; б – узлы крепления

Сооружения, в которых используются сварные стропильные фермы, находятся в климатических условиях с различной расчетной температурой. За расчетную температуру в районе

строительства следует принимать температуру наружного воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98, определенной согласно СП 131.13330.2021 [8], что должно быть учтено при выборе материала. Рекомендации по выбору материала приведены в таблице 3.3.

Для изготовления элементов ферм используют углеродистые и легированные стали, а также алюминиевые сплавы. Алюминиевые сплавы находят применение при изготовлении слабонагруженных особо легких ферм. Стропильные фермы изготавливают из углеродистых и низколегированных сталей. Наиболее рациональным решением является применение низколегированных сталей.

Стали, используемые для изготовления сварных строительных конструкций должны соответствовать техническим условиям и обозначаться по ГОСТ 27772. Обозначение состоит из набора букв и цифр, например, **С390**. Буква обозначает, что сталь используется для строительных металлоконструкций, а цифры обозначают предел текучести в МПа.

Марки сталей и показатели механических свойств проката должны соответствовать стандартам на соответствующий вид продукции. Химический состав низкоуглеродистой стали по ГОСТ 380. Свойства листового горячекатаного проката ГОСТ 14637, фасонного и сортового проката ГОСТ 535. Химический состав низколегированной стали и свойства листового, фасонного и сортового горячекатаного проката ГОСТ 19281.

Марки сталей, рекомендуемые для строительных конструкций групп 1, 2, 3, работающих при температуре не ниже – 55 ° С приведены в таблице 3.3. Для сварных конструкций обязательным является определение углеродного эквивалента. Для сталей низкоуглеродистых значение углеродного эквивалента определяется по ГОСТ 535, а для низколегированных сталей по ГОСТ 19281. ***Для сталей С390 углеродный эквивалент $C_э$ не должен превышать 0,45. Для сталей С440 углеродный эквивалент $C_э$ не должен превышать 0,46, а суммарное значение содержания серы и фосфора в стали не должно превышать 0,02 %.***.

При расчете сварных ферм необходимо знать показатели механической прочности металла. В таблице 3.4 приведены зна-

чения расчетных сопротивлений классов сталей, применяемых для изготовления сварных ферм.

Таблица 3.3 – Марки низкоуглеродистых и низколегированных сталей, используемых для сварных стропильных ферм

Марка стали по			Условия применения стали при расчетной температуре, °С					
			t≥-45			-45>t≥-55		
			для групп конструкций					
ГОСТ 27772	ГОСТ 535, ГОСТ 14637	ГОСТ 19281	1	2	3	1	2	3
С245	Ст3пс, Ст3сп	-	- [2]	+	+	-	-	-
С255	Ст4пс	-	+	+	-			
С285	Ст5пс	-	+	+	+	-	-	-
С345	-	09Г2С	+	+	+			
С390	-	10ХСНД 14Г2АФ	+	+	+	+	+	+
С440	-	18Г2АФ[1]	+	+	+	+	+	+

Примечания
1 – для фасонного и сортового проката толщиной до 16 мм, для листового проката толщиной до 50 мм;
2 – (+) сталь указанной марки применяется, (-) применение не рекомендовано

Таблица 3.4 – Расчетные сопротивления листового, сортового и фасонного проката [3]

Напряженное состояние	Условное обозначение расчетного сопротивления	Расчетные сопротивления для сталей, Н/мм^2					
		С245	С255	С285	С345	С390	С440
Растяжение, сжатие, изгиб	R_y	240	250	270	320	380	430
Сдвиг	R_s	140	140	155	185	220	250
Смятие торцевой поверхности	R_p	360	360	380	459	530	575
Расчетное сопротивление болтов на срез	R_{bs}	(класс прочности болтов 8,8) 330					

Примечание – Болты класса прочности 8,8 могут применять при температурах окружающего воздуха не ниже – 55 °С

Элементы стропильных ферм соединяются между собой с помощью сварки. Большая часть сварочных операций производится в заводских условиях (изготовление полуферм), а сборка фермы производится на монтажной площадке. В заводских условиях для швов длиной до 1 м целесообразно использовать механизированную сварку в углекислом газе. Для швов большей протяженности автоматическую сварку под флюсом или в углекислом газе. При этом прихватки следует выполнять ручной дуговой сваркой. Сварочные материалы применительно к строительным сталям можно принимать по таблице 3.5 или по РД 03-615.

Таблица 3.5 – Способы сварки и рекомендуемые материалы

Наименование стали	Способ сварки			
	Под флюсом		В среде CO_2	Ручная дуговая
	Марка сварочного материала			Тип электрода
С245	АН-348АМ	Св-08	Св-08ГС	Э42А, Э46
С255	ОСЦ-45М	Св-10Г2		Э50А
С285	ОСЦ-45М	Св-10Г2		Э50А
С345	АН-348АМ	Св-10ГА		Э50А
С355	АН-348АМ	Св-10ГА		Э50А
С390	АН-348АМ	Св-10ГА		Э55
С440	АН-22	Св-08ХН2М		Э55

Расчетные сопротивления металла сварных соединений для соответствующих классов сталей даны в таблице 3.5.

Как известно [11], ферма конструктивно состоит из верхнего и нижнего поясов, раскосов и стоек, испытывающих различные по величине и знаку нагрузки. В связи с этим при проектировании фермы для различных ее элементов могут быть выбраны различные типы поперечных сечений. На рисунках 3.6-3.8

показаны характерные примеры поперечных сечений элементов фермы.

Таблица 3.6 – Расчетные сопротивления металла сварных соединений, Н/мм^2 [6]

Тип сварного шва	Напряженное состояние	Условное обозначение расчетного сопротивления	Конструкция из стали					
			С245	С255	С285	С345	С390	С440
Стыковой	**Растяжение, сжатие, изгиб**:							
	автоматическая, механизированная и ручная сварка с физическим контролем качества шва	R_{wy}	240	250	270	320	380	430
	автоматическая, механизированная и ручная сварка		200	200	230	270	320	365
	сдвиг	R_{ws}	140	140	155	185	220	250
Угловой	**срез по металлу шва**	R_{wf}	180	185	200	215	240	250

В легких и средних стропильных фермах, как для растянутых, так и для сжатых элементов (поясов, раскосов, стоек), наиболее часто употребляют сечения либо в форме угольников, либо в форме парных уголков, соединенных через прокладку в соответствии с рисунками 3.6 - 3.8. Для тяжело нагруженных сжатых поясов используют двухстенчатые сечения из сортового или из листового проката. Обычно поперечные сечения для всех

элементов фермы принимают однотипными. При необходимости учета особенностей работы элементов фермы производится обоснование выбора иного типа поперечного сечения конкретного элемента фермы - раскоса, стойки, пояса.

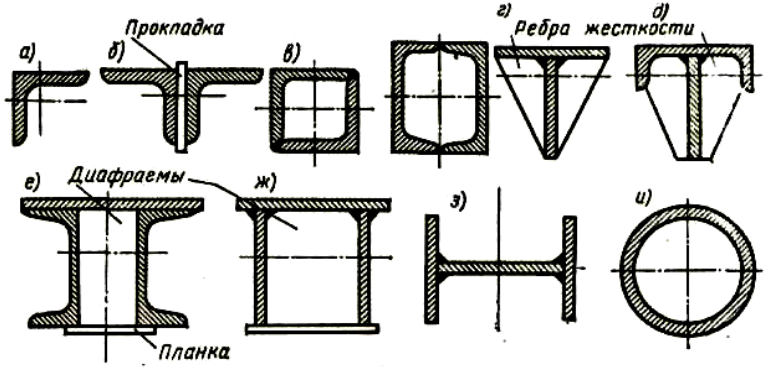


Рисунок 3.6 – Поперечные сечения сжатых поясов ферм

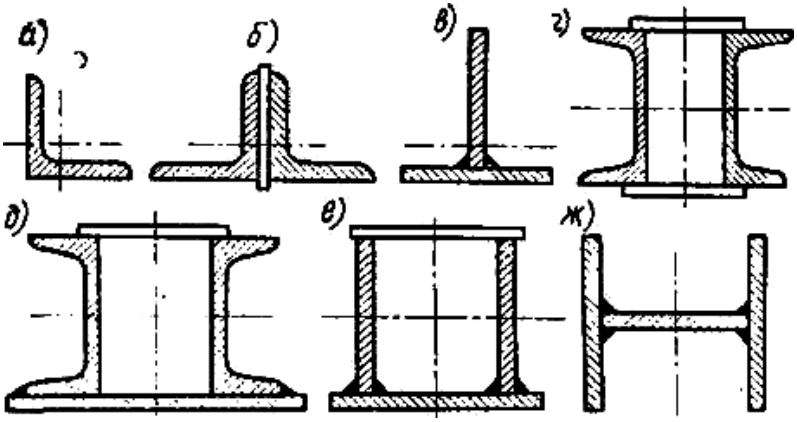


Рисунок 3.7 – Поперечные сечения растянутых поясов ферм

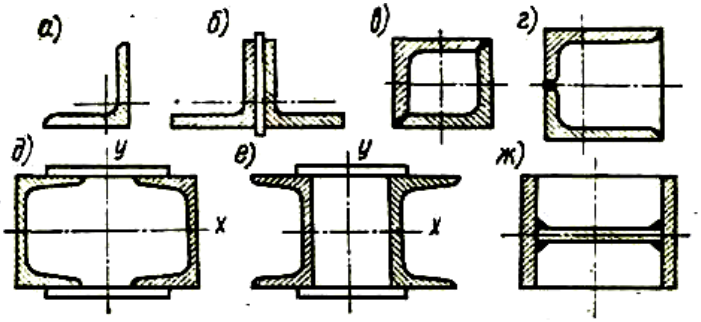


Рисунок 3.8 – Поперечные сечения сжатых и растянутых раскосов и стоек

3.3 Устройство покрытия

Стропильная ферма при перекрытии сооружения выполняет функцию несущего элемента, на который укладывают элементы кровли, а в некоторых случаях – и элементы технологического оборудования. Конструктивно кровля может быть с утеплителем (теплая) или без утеплителя (холодная). По характеру связи с фермой покрытия бывают беспрогонными и с прогонами.

При прогонной системе по верхнему поясу ферм вдоль сооружения укладывают легкие несущие элементы – прогоны, на которых крепятся кровельные плиты. В качестве плит могут использоваться мелкоразмерные железобетонные плиты длиной 1,5 или 3 м, волнистые асбоцементные листы усиленного профиля, волнистые металлические листы, стальной профилированный настил и пр. Прогоны устанавливают с шагом 1,5 или 3 м.

Рассмотрим подробнее устройство перечисленных покрытий.

3.3.1 Покрытие по прогонам

При шаге стропильных ферм 6 м используются прогоны сплошного сечения либо из швеллеров и двутавров, либо из гнутых профилей. Наиболее используются прогоны из швеллеров и двутавров.

Схему установки прогонов необходимо выполнять в соот-

ветствии с рисунком 3.9. Тяжи используют для уменьшения изгибающего момента от скатной составляющей нагрузки. Прогоны крепятся к верхнему поясу фермы при помощи коротышек из уголков и болтов в соответствии с рисунком 3.10.

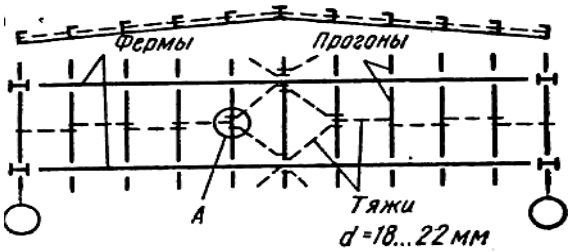


Рисунок 3.9 – Схема установки прогонов сплошного сечения с тяжами

При шаге стропильных ферм 12 м прогоны сплошного сечения становятся неэкономичными вследствие большого расхода стали. В связи с этим при таких пролетах применяют либо решетчатые прогоны, либо сквозные в соответствии с рисунком 3.11.

Прогоны, закрепленные на скате крыши, подвергаются воздействию нагрузки в двух плоскостях в соответствии с рисунком 3.10а. Прогоны сплошного сечения имеют малую жесткость относительно оси Y-Y, поэтому, хотя скатная составляющая и невелика, напряжения получаются большими. Проверку прочности производят по совместному действию напряжений в двух плоскостях

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y \leq \gamma_c \cdot R_y, \qquad (3.1)$$

где σ_x – напряжения в плоскости X-X, МПа;

σ_y – напряжения в плоскости Y-Y, МПа;

γ_c – коэффициент условий работы;

R_y – расчетное сопротивление, МПа.

Прогоны других типов рассчитывают, как фермы с соответствующей системой решетки [5].

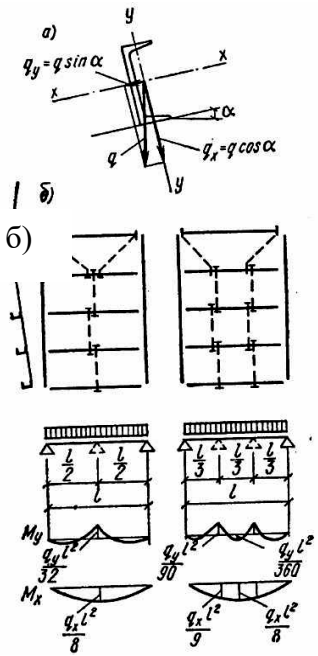


Рисунок 3.10 – Схема действия нагрузки и определения расчетных усилий в прогоне

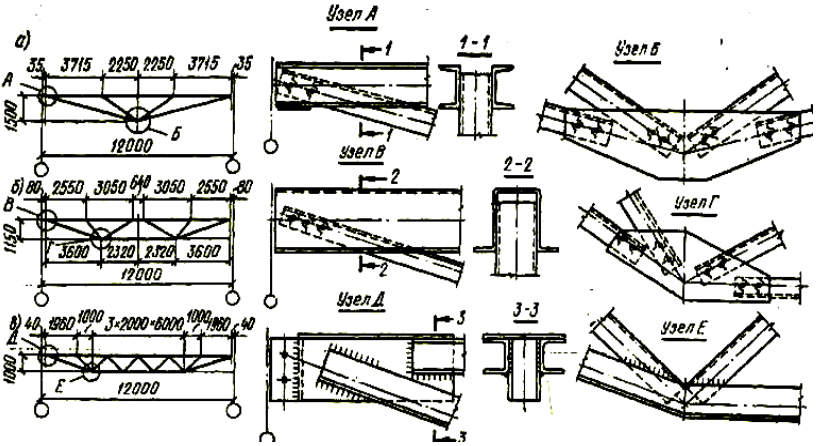


Рисунок 3.11 – Решетчатые прогоны длиной 12 м

При покрытии по прогонам неотапливаемых сооружений используют несколько вариантов кровли:

1) мелкоразмерные железобетонные плиты, выравнивающий асфальтовый слой и гидроизолирующий рубероидный ковер в соответствии с рисунком 3.12,а;

2) волнистые асбоцементные листы усиленного профиля в соответствии с рисунком 3.12,б или волнистые листы из алюминия или стальной профилированный настил;

3) плоские стальные листы над горячими цехами в соответствии с рисунком 3.13.

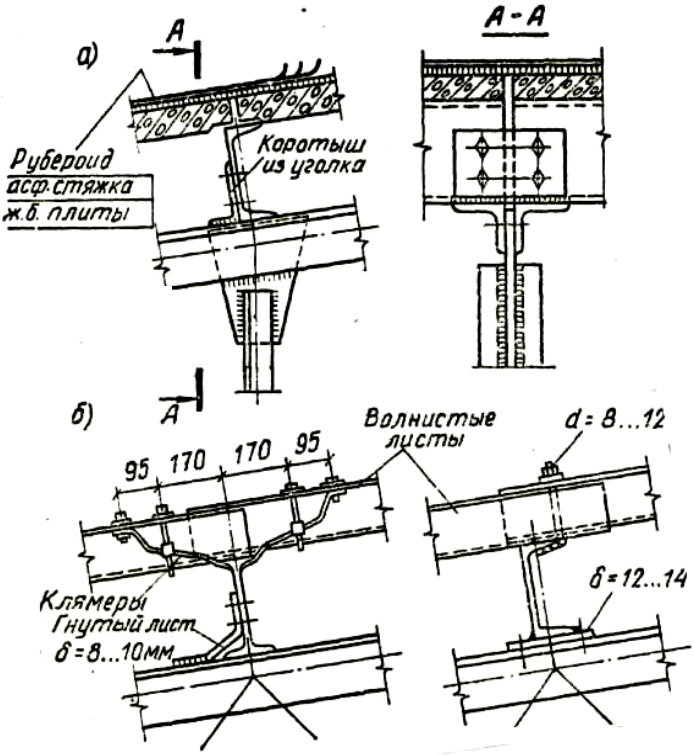


Рисунок 3.12 – Кровля по прогонам:
а – с мелкоразмерными железобетонными плитами;
б – с волнистыми асбестоцементными (алюминиевыми) листами

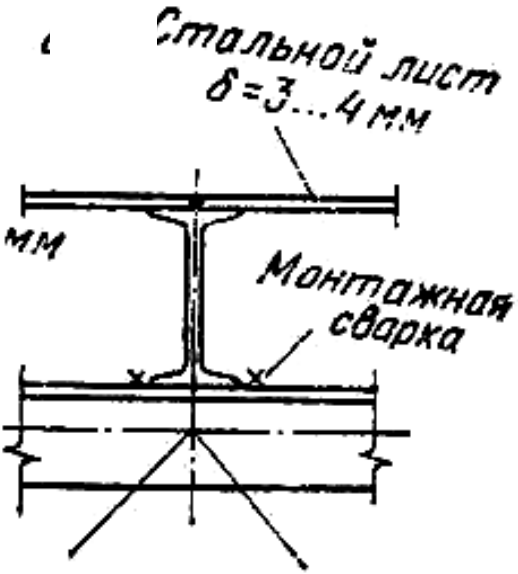


Рисунок 3.13 – Кровля по прогонам над металлургическим цехом

При использовании стального профилированного настила в составе холодного покрытия отсутствует пароизоляционный слой и утеплитель, показанные на рисунке 3.14.

Утепленная кровля по прогонам может быть следующих типов:

1) с использованием в качестве несущего элемента стального профилированного настила в соответствии с рисунком 3.14;

2) с использованием армоцементных и асбестоцементных плит в соответствии с рисунком 3.15.

В кровле первого типа функции несущего элемента выполняет стальной профилированный настил. Стальной профилированный настил изготавливают из оцинкованной стали толщиной 0,8, 0,9, 1,0 мм и шириной 600, 750, 800, 801, 902 мм с высотой профиля 57, 60, 75, 114 мм, длиной до 12 м. Условные обозначения листов – согласно ГОСТ 24045.

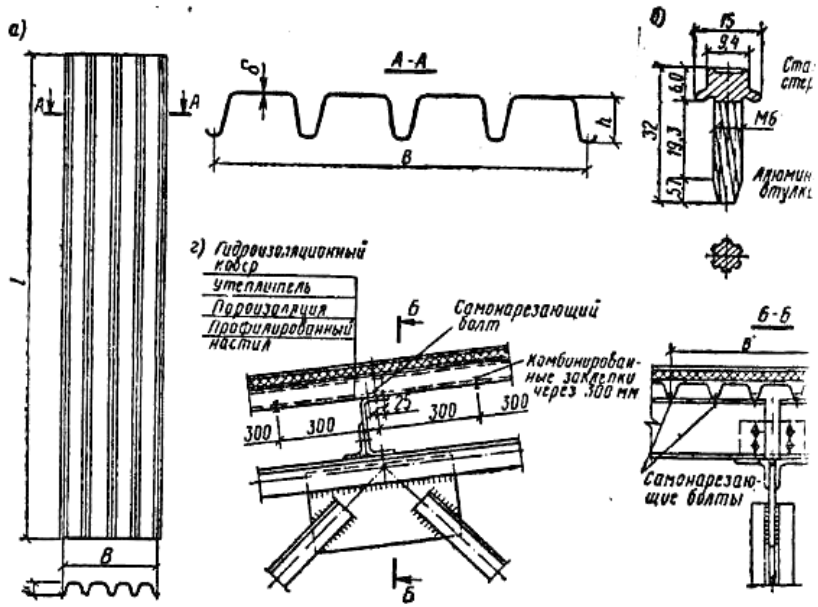


Рисунок 3.14 – Утепленная кровля по прогонам со стальным профилированным настилом

Настил укладывают перпендикулярно прогонам и прикрепляют его при помощи самонарезных болтов диаметром 6 мм. Состав покрытия показан на рисунке 3.14.

Утепленная кровля второго типа содержит несущие армоцементные или асбестоцементные плиты, на которые последовательно укладывают утеплитель, асфальтовый слой и гидроизоляционный ковер. Промышленностью поставляются специальные кровельные узлы на основе армоцементных плит, содержащие утеплитель.

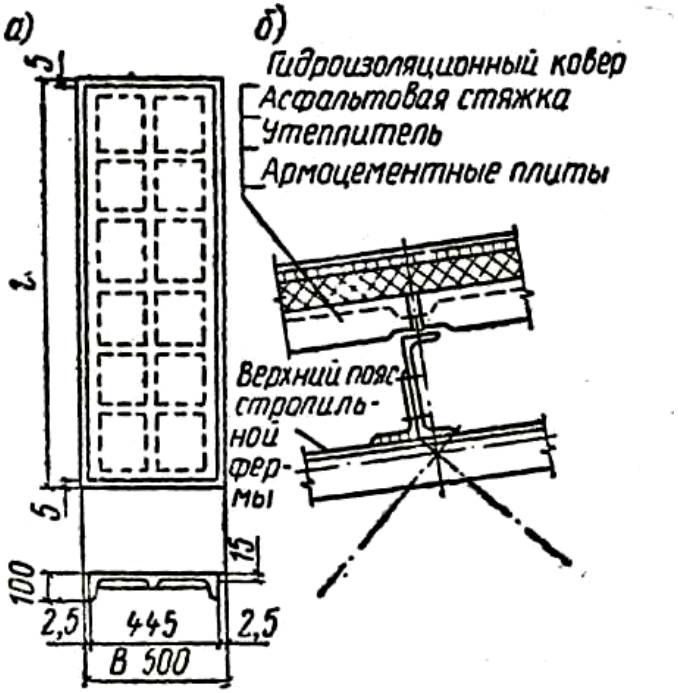


Рисунок 3.16 – Утепленная кровля по прогонам с применением армоцементных плит:
а – армоцементная плита; б – состав покрытия

3.3.2 Беспрогонные покрытия

В беспрогонном покрытии нагрузка от всех элементов кровли воспринимается непосредственно верхним поясом стропильной фермы. В связи с тем, что стропильные фермы устанавливают с шагом 6 или 12 м, в качестве несущего элемента кровли используют либо унифицированные крупнопанельные плиты, либо стальной профилированный настил. Размеры унифицированных плит приведены в таблице 3.6, размеры стального профилированного настила см. в п. 3.3.1.

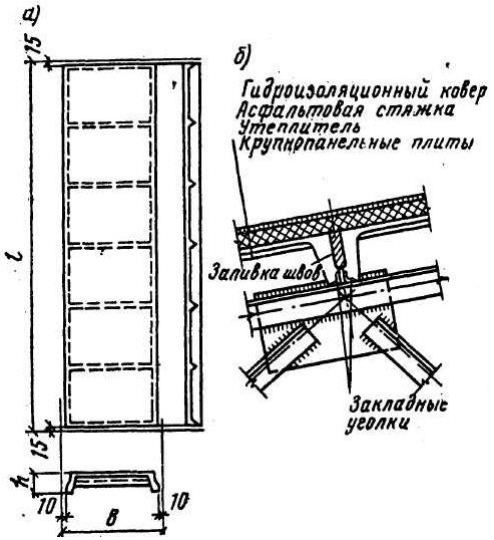


Рисунок 3.16 – Утепленная кровля с ж/б плитами

Так же как покрытия по прогонам, беспрогонные покрытия делятся на холодные и утепленные. Покрытия на основе профилированного настила аналогичны покрытиям, рассмотренным в п. 3.3.1.

Железобетонные крупнопанельные плиты крепят к верхнему поясу фермы при помощи сварки через закладные элементы. Холодная кровля с железобетонными плитами отличается от утепленной кровли только отсутствием утеплителя. Пример утепленной кровли приведен на рисунке 3.16.

3.4 Определение узловых нагрузок фермы

Согласно принятым методикам стропильные фермы рассчитывают по узловым нагрузкам, в то время как элементы покрытия создают распределенные нагрузки. В начальной стадии определения узловых нагрузок по типу покрытия (теплое или холодное; с железобетонным плитами или по прогонам со стальным профилированным настилом) выбирают все элементы

для покрытия, указанного в задании на проект. Для каждого элемента покрытия необходимо выбрать нормативные распределенные нагрузки и коэффициенты надежности по нагрузке. Значения этих показателей берут из нормативных документов строительной индустрии [7] или принимают по таблице 3.7 уч. пособия. Расчетные распределенные нагрузки для каждой составляющей покрытия определяют по формуле

$$q_{p\,i} = q_{ni} \cdot \gamma_f \,, \qquad (3.2)$$

где q_{pi} - расчетная нагрузка от элемента покрытия, кН/м^2;
q_{ni} - нормативная равномерно распределенная нагрузка от элемента покрытия, кН/м^2;
γ_f - коэффициент надежности по нагрузке.

Нормативная нагрузка, создаваемая фермой со связями (кроме фонаря), определяется по формуле

$$q_{н.м.} = 1{,}2 \cdot l \cdot \gamma_p \,, \qquad (3.3)$$

где $q_{н.м}$ – нормативная нагрузка от фермы, кН/м^2;
l – длина пролета (фермы) по зданию, м^2;
γ_p – коэффициент веса ригеля (таблица 3.6)

Расчетную нагрузку от металлоконструкций фермы определяют по формуле 3.2.

У ферм с фонарем нагрузку на них создают и элементы фонаря: металлоконструкция, бортовые панели и остекления (таблица 3.6). Нагрузку от этих элементов определяют по формуле 3.1.

От всех элементов покрытия определяют суммарную расчетную распределенную нагрузку

$$\sum q_p = q_1 + q_2 + \ldots + q_n \,, \qquad (3.4)$$

где $\sum q_p$ – суммарная расчетная нагрузка, кН/м^2;
q_1, q_2, q_n – расчетные нагрузки отдельных элементов покрытия, кН/м^2.

Снеговой покров также создает нагрузку на ферму, величина которой зависит от климатических условий в месте строительства. Нормативную равномерно распределенную снеговую

нагрузку определяют по формуле

$$S_0 = S_g, \cdot c_e \,, \qquad (3.5)$$

где S_0 – нормативная равномерно распределенная снеговая нагрузка с учетом конфигурации кровли, кН/м^2;

S_g,– нормативная равномерно распределенная снеговая нагрузка, кН/м^2 (таблица 3.7);

c_e – коэффициент сноса снега с покрытий зданий.

Для однопролетных бесфонарных зданий с углом наклона ската кровли α ≤ 25° коэффициент c_e равен 1,0, при α > 60° его принимают равным нулю. Промежуточные значения коэффициента определяют с помощью линейной интерполяции. Для ферм с фонарем данный коэффициент определяют по формуле

$$c_e = 1{,}0 + 0{,}1 \cdot a/b, \qquad (3.6)$$

где a – ширина фонаря, м;

b – половина пролета фермы, свободного от фонаря, м (но не более 4,0 для ферм с суммарной нормативной нагрузкой покрытия $\sum q_H \leq 1{,}5$ кН/м^2 и не более 2,5 при $\sum q_H > 1{,}5$ кН/м^2).

Расчетную снеговую нагрузку определяют по формуле

$$S_p = S_0 \cdot \gamma_f, \qquad (3.7)$$

где S_p – расчетная равномерно распределенная снеговая нагрузка, кН/м^2;

S_0 – нормативная равномерно распределенная снеговая нагрузка, кН/м^2;

γ_f – коэффициент надежности по нагрузке принимают по СП 20.13330.2011 равным $\gamma_f = 1{,}4$.

Для определения узловой нагрузки необходимо знать величину площади, с которой собирается нагрузка на узел. Она определяется по формуле

$$F = d \cdot t_ф \,, \qquad (3.8)$$

где d – длина панели верхнего пояса, м;

$t_ф$ – шаг ферм (колонн), м.

Таблица 3.7 - Значения нормативных распределенных нагрузок и коэффициентов надежности по нагрузке для элементов покрытия

Элемент покрытия	Нормативные распределенные нагрузки, q_{ni}, кН/м^2	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f	Примеч.
Железобетонные плиты с заливкой швов:			
1) 1,5 х 6 м	1,8	1,1	
2) 1,5 х 12 м	3,1	1,1	
3) 3 х 6 м	1,6	1,1	
4) 3 х 12 м (1-й тип)	1,8	1,1	
5) 3 х 12 м (2-й тип)	2,1	1,1	
Стальной профилированный настил:			
1) h = 0,8 мм	0,12	1,1	
2) h = 1,0 мм	0,15	1,1	
Асбестоцементные волнистые листы	0,2	1,1	
Утеплитель (h = от 50 до 120 мм):			h - высота слоя утепли-теля
1) ФРП-1 γ = 0,5 кН/м^3	$h\,\gamma$	1,2	
2) пенобетон γ = 6 кН/м^3	$h\,\gamma$	1,2	
3) минераловата γ = от 1 до 3 кН/м^3	$h\,\gamma$	1,2	
Асфальтовая стяжка	$h\,\gamma$		
h = 20 мм, γ = 18 кН/м^3	0,36	1,2	
Пароизоляционный слой	0,04	1,1	
Гидроизоляционный ковер:			
1) 3-слойный	0,1	1,2	
2) 4-слойный	0,15	1,2	
Гравийно-битумный защитный слой:			
1) h = 10 мм	0,21	1,2	
2) h = 15 мм	0,27	1,2	
Ферма со связями			
γ_p= от 0,006 до 0,01 кН/м^3	$\gamma_p l$	1,05	l – длина фермы
Остекление фонаря	0,35-0,4	1,1	
Каркас фонаря со связями	0,12-0,16	1,05	
Нагрузка от 1 м длины бортовой панели фонаря, кН/м:			
1) длина 6 м	1,2	1,1	
2) длина 12 м	1,5	1,1	
Прогоны	0,12	1,05	

Таблица 3.7 – Нормативная распределенная снеговая нагрузка по СП 20.13330.2012

Место строительства	S_g, кН/м^2
Астрахань, Букачача, Борзя, Гусиноозерск, Кочубей, Кизляр, Нариманов, Нерчинск, Сретенск, Чита, Улан-Удэ,	0,8
Верхоянск, Вилюйск, Волгоград, Краснодар, Мирный, Ростов-на-Дону, Ставрополь, Таганрог, Элиста	1,2
Омск, Тюмень, Псков, Саратов, Брянск, Челябинск, Москва, Братск, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Пенза, Воронеж	1,8
Великий Устюг, Вологда, Ярославль, Ульяновск, Нижний Новгород, Самара, Казань, Архангельск, Новосибирск, Барнаул, Красноярск, Самара	2,4

Узловая нагрузка складывается из нагрузки от элементов покрытия (постоянная нагрузка) и основной нагрузки (временная).

Нагрузка на крайние узлы для ферм без фонаря и с фонарем определяется по формуле

$$P_{1,n} = 0,5 \cdot (\sum q_p + S_p) \cdot F, \qquad (3.9)$$

где $P_{1,n}$ - нагрузка на первый и последний узлы фермы, кН.

Нагрузка на средние узлы фермы без фонаря и на остальные бесфонарные узлы ферм с фонарем в два раза больше значения $P_{1,n}$, вычисленного по формуле 3.8.

Узловые нагрузки на ферму в местах опирания крайних стоек фонаря определяются по формуле

$$P_{о.ф.} = (\sum q_p + S_p) \cdot F + (0,5 \cdot q_{м.ф.} \cdot d + q_{ос} \cdot h_{ос} + q_{р.б.}) \cdot t_ф, \qquad (3.10)$$

где $P_{о.ф.}$ – узловая нагрузка под стойкой фонаря, кН;

$q_{м.ф.}$ – расчетная нагрузка от металлоконструкции фонаря, кН/м^2;

$q_{ос}$ – расчетная нагрузка от остекления, кН/м^2;

$q_{р.б}$ – расчетная нагрузка от бортовой панели фонаря, кН/м^2;
$h_{ос}$ – высота остекления, м.

Нагрузка на подфонарные узлы фермы, имеющие связи с фонарем, определяется по формуле

$$P_{п.ф.} = (\sum q_р + S_р + q_{м.ф}) \cdot F, \qquad (3.11)$$

где $P_{п.ф}$ – нагрузка на подфонарные узлы, кН.

Если подфонарный узел не имеет связи с фонарем (например, коньковый), то нагрузка на него создается только металлоконструкцией фермы со связями (см. формулы 3.2 и 3.3). Узловую нагрузку на такой узел можно вычислить по формуле

$$P_{п.ф.б.} = q_{р.м.} \cdot F, \qquad (3.12)$$

где $P_{п.ф.б}$ – нагрузка на подфонарные узлы фермы, не имеющие связи с фонарем, кН;
$q_{р.м}$ – расчетная нагрузка от металлоконструкции фермы со связями, кН/м^2.

Нагрузки, действующие на крайние узлы фонаря, могут быть определены по формуле 3.9, если вместо нагрузки от металлоконструкции фермы взять нагрузку от каркаса фонаря со связями. Нагрузки на остальные узлы фонаря также в два раза больше, как и на основной ферме.

На этом расчет узловых нагрузок заканчивается и производится определение опорных реакций $R_а$ и $R_б$.

$$R_а = R_б = \Sigma P_{1\text{-}n} / 2 \qquad (3.13)$$

3.5 Определение усилий в стержнях плоских ферм

Для определения усилий в стержнях ферм необходимо знать нагрузки, действующие на сооружение, и реакции опор (см. п. 3.4). Затем при помощи аналитических или графоаналитических методов определяют собственно усилия в стержнях.

3.5.1 Аналитическое определение усилий

Этот метод основан на следующих принципах: разрез фермы, отбрасывание одной из ее частей, замена стержней силами, уравновешивание исследуемой части (сокращенно – правило РОЗУ).

Для разрезания фермы используют методы вырезания узлов и сквозных сечений, соответственно рисунки 3.17 – 3.18. В месте разреза к стержням прикладывают искомые силы, направленные от сечения (растягивающие). Если после расчета знак сменится, то сила – сжимающая.

Метод вырезания узлов удобен в следующих случаях:

а) в узле сходятся два стержня, при этом усилия находят из уравнений

$$\sum X = 0, \sum Y = 0;$$

б) в узле сходятся несколько (более двух) стержней, при этом неизвестных усилий должно быть не более двух.

Метод сквозных сечений базируется на составлении уравнений равновесия моментов

$$\sum M_1 = 0; \sum M_2 = 0; \sum M_n = 0,$$

при этом 1, 2, ..., n - точки, называемые моментными, если они лежат на пересечении двух перерезанных стержней фермы.

Моментная точка 1' лежит на пересечении стержней 0'1' и 01', моментная точка 0 - на пересечении стержней 01' и 01. Для параллельных стержней моментная точка смещается в бесконечность, и в этом случае уравнения равновесия имеют вид:

$$\sum M = 0; \sum M_1 = 0; \sum Y = 0.$$

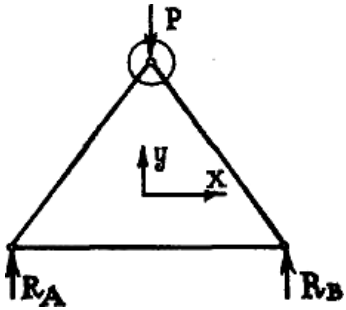


Рисунок 3.17 – К определению усилий в стержнях фермы методом вырезания узлов

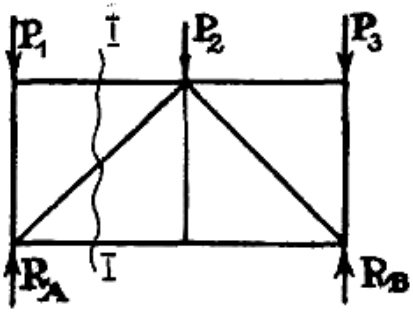


Рисунок 3.18 – К определению усилий в стержнях фермы методом сварных сечений

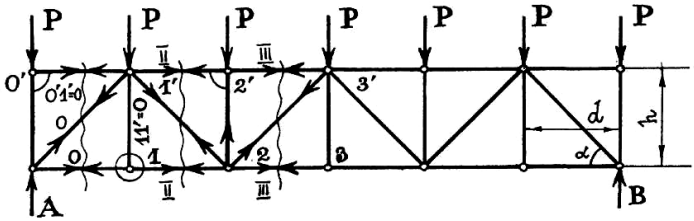


Рисунок 3.19 – К определению усилий в стержнях фермы аналитическим методом

В каждое уравнение входит одно неизвестное, т.к. остальные неизвестные усилия образуют относительно моментных точек моменты, равные нулю.

Общие замечания: 1) если в узле сходятся два перпендикулярных стержня и вдоль одного из них действует нагрузка, то усилие в другом стержне – нулевое; 2) если в узле сходятся три стержня и два из них являются взаимным продолжением, то усилие в третьем стержне отсутствует.

Рассмотрим применение аналитического метода на примере фермы с параллельными поясами, показанной на рисунке 3.19. Сквозные сечения производим в первой, второй и третьей панелях. В качестве моментных точек можно взять узловые точки 1', 3' верхнего пояса и 0, 2 – нижнего. Рассмотрим сквозное сечение второй панели (моментные точки 1' и 2). Запишем уравнения равновесия отрезанной левой части фермы, нагруженной реакцией *A*, узловыми силами *P* и усилиями стержней 1'2', 1'2 и 12 в виде

$$\sum M_{1'} = 0$$

$$A \cdot d - P \cdot d - 12 \cdot h = 0, \qquad (3.14)$$

откуда

$$12 = 3{,}5 \cdot P \cdot d/h. \qquad (3.15)$$

Далее из уравнения $\sum M_2 = 0$.

$$A \cdot 2 \cdot d - P \cdot 2 \cdot d - P \cdot d + 1'2' \cdot h = 0, \qquad (3.16)$$

$$1'2' = -4 \cdot P \cdot d/h \qquad (3.17)$$

и из уравнения $\sum Y = 0$.

$$3{,}5 \cdot P - P - P + 1'2' \cdot \sin(\alpha) = 0, \qquad (3.18)$$

$$1'2' = 1{,}5 \cdot P/\sin(\alpha). \qquad (3.19)$$

Усилия в стойках найдем методом вырезания узлов, узел 0': условия равновесия можно записать в виде

$$\sum Y = -0'0' - P = 0, \qquad (3.20)$$

откуда

$$0'0' = -P.$$

Аналогично определяются усилия в других стержнях.

3.5.2 Графоаналитическое определение усилий

Усилия в стержнях фермы могут быть определены графоаналитическим методом через построение диаграммы Максвелла-Кремоны. Для этого необходимо знать узловые нагрузки и реакции опор. Перед построением диаграммы следует:

а) вычертить схему фермы в масштабе;

б) обозначить узловые силы и реакции опор;

в) выбрать масштаб построения диаграммы;

г) обозначить пространства между силами цифрами, а внутренние пространства – буквами;

д) построить в масштабе многоугольник внешних сил (при вертикальных узловых силах он вырождается в линию).

При построении диаграммы производится мысленное «вырезание» узла и совершается его обход по направлению часовой стрелки, начиная с внешней силы или уже известного усилия. Обход начинают с узла, в котором сходятся не более двух стержней. Для симметричной фермы диаграмма строится для одной половины. При использовании вышеуказанного метода целесообразно использовать методы машинной графики AutoCAD, Компас и т.п. Эти методы повышают точность расчетов.

Рассмотрим определение усилий на практическом примере в соответствии с рисунками 3.20 – 3.21.

Построение начинаем с верхнего левого узла с силы $\boldsymbol{P_1}$, прочитывая ее как вектор ***1- 2***. Откладываем отрезок (в масштабе) ***1 - 2***, далее откладываем направление действия реактивного усилия в стержне ***2 - а***, а затем через ***точку 1*** проводим линию направления реактивного усилия ***а - 1***. Точка пересечения сил ***2 - а*** и ***а - 1*** даст ***точку а*** (на диаграмме). Отрезок ***а - 1*** соответствует усилию в стойке.

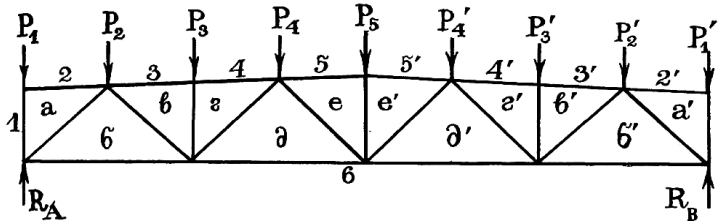


Рисунок 3.20 – К определению усилий в стержнях фермы графоаналитическим методом

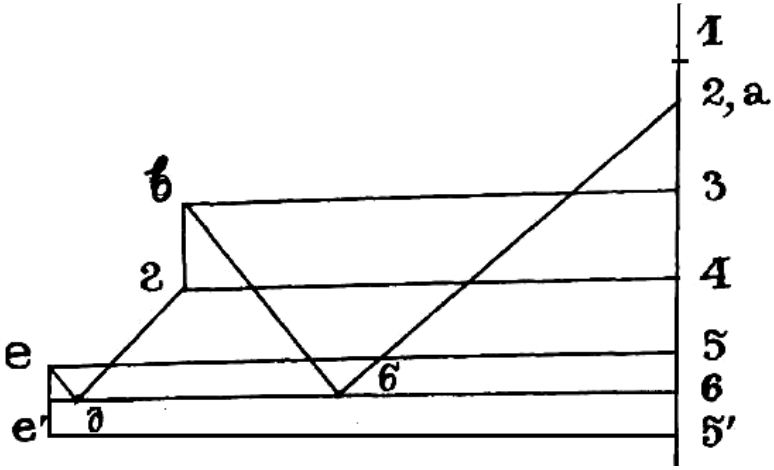


Рисунок 3.21 – Диаграмма Максвелла-Кремоны

Переходим к узлу, в котором не более двух неизвестных усилий, – нижнему узлу. Откладываем отрезок ***6 - 1***, соответствующий реакции R_a, далее – усилие в стойке ***1- а***, и через ***точку а*** проводим линию действия усилия в раскосе ***а - б***, после чего через ***точку 6*** проводим линию действия усилия в поясе ***б - 6***. Точка пересечения линий ***а - б*** и ***б - 6*** является ***точкой б***.

Следующим узлом с двумя неизвестными усилиями является узел с силой P_2. Отрезок ***2 - 3*** соответствует силе P_2, затем через ***точку 3*** проводим линию действия усилия ***3 - в***, а через ***точку б*** - линию, соответствующую усилию в раскосе ***в - б***. Точ-

ка пересечения этих линий является ***точкой в***; остальные точки известны.

Аналогичным образом обходят все узлы половины фермы и коньковый узел. Для фонаря строят отдельную диаграмму.

Определяя длины отрезков на диаграммах и умножая их на масштаб, получают значения усилий в соответствующих стержнях. Знаки усилий определяют по следующему правилу:

а) выбирают узел с внешней силой, направление действия которой известно, и выбирают направление обхода узла;

б) просчитывают встречающиеся при обходе усилия;

в) определяют направления действия усилий в стержнях – если усилие направлено к узлу, то стержень сжат (знак усилия «-»), а если от узла, то растянут (знак «+»).

Построение диаграммы целесообразно выполнять в графической программе Компас. Перед построением необходимо принять масштаб построения μ, кН/мм. Для определения масштаба необходимо реакцию опоры разделить на (100-150) мм. Отрезок, соответствующий усилию в «коньковом» узле фермы, переходит за начало отрезка, соответствующего реакции опоры вниз (рисунок 3.21).

3.6 Подбор сечений стержней фермы

Рекомендуемые типы сечений были показаны в разделе 3.1. Выбор типа сечения основывается на минимуме расхода металла и обеспечении равноустойчивости элементов решетки в плоскости и из плоскости, т. е.

$$l_x/r_x \approx l_Y/r_Y, \text{ или } r_x \approx r_Y.$$

При закреплении каждого узла пояса с точки зрения расхода металла выгоднее неравнобокие уголки малыми полками в стороны, так как $r_x \approx r_Y$. Однако в этом случае пояса легко гнутся и возрастают расходы на правку. В связи с этим чаще используют для верхнего пояса равнобокие парные уголки. При закреплении пояса стержней через узел, когда l_Y = 6000 мм могут возникнуть затруднения выбора параметров уголков из-за потери устойчивости в плоскости фермы.

Для опорных раскосов, имеющих $l_X = l_y$, выгоднее выбирать сечения из неравнобоких уголков малыми полками в стороны. Остальные сжатые элементы, имеющие $l_x = 0{,}8 \cdot l_y$, чаще проектируют из равнобоких уголков.

У растянутых элементов решетки главным требованием является условие прочности, поэтому могут быть использованы как равнобокие, так и неравнобокие уголки большими полками в стороны.

Если после выбора связей жесткости $l_Y = 2 \cdot l_X$ для нижнего пояса, то рекомендуется использовать неравнобокие уголки, а во всех остальных случаях – равнобокие. Для остальных растянутых элементов применяют равнобокие парные уголки.

Крестообразные сечения для стоек используются в случае, если к ним прикрепляются связи, перпендикулярные плоскости фермы, например, в середине пролета.

Остальные типы сечений для строительных ферм применяются при наличии специальных требований к конструкции элементов решетки.

Определение площади поперечных сечений элементов решетки начинают с наиболее нагруженных панелей. Рассмотрим подробнее, как это выполняется.

Определяем толщину фасонок в узлах фермы по данным таблицы 3.8

Таблица 3.8 - Рекомендуемые толщины фасонок ферм

Наибольшее расчетное усилие в опорном раскосе, кН	До 200	200-400	450-750	750-1150	1150-1650	1650-2250	2250-3000	3000-3800	До 5000
Толщина фасонки, мм	8	10	12	14	16	18	20	22	25

Толщины остальных фасонок назначаются на 2 мм меньше.

Для растянутых элементов требуемую площадь определяют по формуле

$$F_{тр}=N/\gamma_c \cdot R_y, \qquad (3.21)$$

где $F_{ТР}$ - требуемая площадь, мм^2;
N - расчетное усилие в стержне, Н;
γ_c - коэффициент условий работы (см. ниже);
R_y – расчетное сопротивление проката на растяжение, сжатие, изгиб, Н/мм^2.

После этого по таблице сортамента подбирают сечение, близкое к $F_{тр}/2$, выписывают сведения о радиусах инерции с учетом толщины фасонки и проверяют гибкость

$$\lambda_x=l_x/r_x \leq 400,$$
$$\lambda_Y=l_Y/r_Y \leq 400$$

и прочность

$$\sigma = N/F_{под} \leq \gamma_c \cdot R_y . \qquad (3.22)$$

Сечение принимается, если напряжения отличаются от $\gamma_c \cdot R_y$ не более чем на 5 %.

Для сжатых элементов пояса используется расчетная формула

$$F_{ТР} = N/\varphi \cdot \gamma_c \cdot R_y, \qquad (3.23)$$

где φ – коэффициент продольного изгиба.

Коэффициенту продольного изгиба на первой стадии придают предварительное значение φ = (0,6 - 0,9).

Определив значение $F_{ТР}$, по таблице сортамента подбирают значение площади уголка, близкое к $F_{ТР}/2$, и значения радиусов инерции с учетом толщины фасонки. Затем определяют

$$\lambda_x=l_x/r_x \leq 120, \ \lambda_Y=l_Y/r_Y \leq 120.$$

Если гибкости превышают допустимое значение, то выбирают значение площади уголка с большими величинами радиусов инерции и, повторяя эту операцию нужное число раз, добиваются соответствия гибкостей нормам.

По наибольшей гибкости определяют значение по приложению [5] и проверяют прочность по формуле

$$\sigma = N/\varphi \cdot F_{под} \leq \gamma_c \cdot R_y \cdot (1 \pm 0{,}05). \qquad (3.24)$$

Для остальных сжатых элементов норма гибкости выше

$$[\lambda] \leq 150.$$

Для слабонагруженных элементов требование прочности не выполняется – сечение недогружено. Для сварных ферм не рекомендуется принимать уголки менее 50×5.

Коэффициент продольного изгиба - φ может быть рассчитан по формулам [6]. Такой подход, при использовании компьютерных программ, позволяет сразу определять коэффициент продольного изгиба без поиска предварительных значений r_x и r_Y. Поэтому его можно рекомендовать для применения в курсовом проекте.

Для расчетного определения коэффициента продольного изгиба - φ потребуется значение расчетного сопротивления проката и модуля упругости - E марки стали, используемой в проекте. Расчетное сопротивление можно принять по таблице 3.4. Модуль упругости стали может быть принят равным $E = 2.1 \cdot 10^5$ *Н/мм*^{2}.

Коэффициент устойчивости при центральном сжатии - φ, значение которого при $\lambda \geq 0{,}4$ следует определять по формуле

$$\varphi = 0{,}5\,(\delta - \delta - 39{,}48\,\bar{\lambda}^2)/\,\bar{\lambda}^2. \qquad (3.25)$$

Значение коэффициента δ в формуле (8) следует вычислять по формуле

$$\delta = 9{,}87(1 - \alpha + \beta\,\bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2\,, \qquad (3.26)$$

где $\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{R_y/E}$ – условная гибкость стержня; для парных уголков принимают $\alpha = 0{,}04$, $\beta = 0{,}14$.

Значения коэффициента φ, вычисленные по формуле (8), следует принимать не более $7{,}6/\bar{\lambda}^2$ при значениях условной гибкости свыше 5,8 для парных уголков. При значениях $\bar{\lambda} < 0{,}4$ для всех типов сечений допускается принимать $\varphi = 1$. Значения коэффициента φ приведены в приложении Д.

Значение коэффициента γ_c принимают исходя из следующих соображений: для сжатых основных элементов стропиль-

ных ферм (кроме опорных) γ_c = 0,8; для всех остальных элементов фермы γ_c = 1,0.

3.7 Конструирование узлов ферм

Конструирование фермы следует начинать с вычерчивания осевых линий, образующих геометрическую схему конструкции. При этом осевые линии элементов должны пересекаться в центрах узлов, т.к. только в этом случае не возникают дополнительные изгибающие моменты.

Далее на чертеж наносят контуры стержней, совмещая осевые линии с центрами тяжести сечений элементов. Обрезка уголков решетки производится перпендикулярно оси, не доходя от концов стержней до пояса приблизительно 40 мм (для свободного доступа к сварным швам).

Очертания фасонок в узлах определяются условиями размещения сварных швов. В любом сечении площадь сечения фасонки не должна быть менее площади сечения привариваемых уголков.

При использовании железобетонных плит фасонку выпускают на величину катета за верхний пояс. Если устанавливают прогон, то фасонку не доводят на 5 мм до «обушка» уголков пояса, а образовавшееся пространство при сварке заплавляют. В этом случае рабочими расчетными швами являются швы у «пера» уголков.

Усилие, на которое рассчитывается прикрепление фасонки к поясу, представляет собой равнодействующую усилий в узле.

Усилие, сдвигающее элементы решетки относительно фасонки, соответствует усилию в стержне.

В настоящее время стропильные фермы выполняют сварными, поэтому при их проектировании необходимо соблюдать рекомендации строительных НД (в заводских условиях это - ГОСТ 23118, СП 16.13330.2017, в монтажных это – РД 34 15.132-96). Прикреплять фасонки к поясным уголкам следует со стороны «обушка» и «пера», т. к. в противном случае уголки могут легко отогнуться в результате действия случайных факторов.

При проектировании тавровых и угловых сварных соединений элементов стальных конструкций с растягивающими напряжениями в направлении толщины проката с целью исключения возможности слоистого разрушения металла под сварным швом, как правило, следует:

использовать технологические приемы сварки, направленные на снижение остаточных сварочных напряжений;

отказаться от применения одностороннего углового шва и перейти к двустороннему;

заменять угловые соединения тавровыми, а в последних обеспечивать отношение ширины свеса к толщине элементов не менее 1;

применять разделки кромок, обеспечивающие снижение объема наплавленного металла.

Сварные стыковые соединения листовых деталей, как правило, следует проектировать прямыми с полным проваром и с применением выводных планок.

В монтажных условиях допускается односторонняя сварка с подваркой корня и сварка на остающейся стальной подкладке.

Размеры сварных угловых швов и конструкция соединения должны удовлетворять следующим требованиям:

а) катет углового шва k_f не должен превышать 1,2 t, где t – наименьшая из толщин свариваемых элементов;

катет шва, наложенного на закругленную кромку фасонного проката толщиной t, как правило, не должен превышать $0{,}9 \cdot t$;

б) катет углового шва k_f должен удовлетворять требованиям расчета и быть, как правило, не меньше 4 мм при РД сварке и не менее 3 мм при МП сварке.

при возможности обеспечения большей глубины провара катет шва (от 5 мм и более) в тавровом двустороннем, а также в катеты швов по ***«обушку»*** можно назначать равными толщине полки, но не более 14 мм.

- временное сопротивление разрыву металла сварного соединения, как правило, должно быть не ниже временного сопротивления основного металла.

- относительное удлинение должно быть не ниже 16 %

При отсутствии выводных планок расчетная длина сварного шва увеличивается на 1 см.

Сварные соединения ферм относятся к III уровню качества. К нему относятся:

- Поперечные стыковые швы. воспринимающие сжимающие напряжения.
- Продольные стыковые швы и связующие угловые швы в сжатых элементах конструкций.
- Стыковые и угловые швы, прикрепляющие фасонки к сжатым элементам конструкций.

При визуальном контроле сварные швы должны соответствовать следующим требованиям:

а) иметь гладкую или равномерно чешуйчатую поверхность без резких переходов к основному металлу (требование плавного перехода к основному металлу должно быть специально обосновано и обеспечено дополнительными технологическими приемами;

б) швы должны быть потными по всей длине н не иметь видимых прожогов, суженнй, перерывов, наплывов, а также недопустимых по размерам подрезов, непроваров в корне шва, несплавлений по кромкам, шлаковых включений и пор;

в) металл шва и околошовной зоны не должен иметь трещин любой длины и любой ориентации;

г) кратеры швов в местах остановки сварки должны быть переварены, а в местах окончания заварены.

д) расчетная длина углового шва должна быть не менее $4\ k_f$ и не менее 40 мм;

е) расчетная длина флангового шва должна быть не более $85\ \beta_f \cdot k_f$, за исключением швов, в которых усилие действует на всем протяжении шва;

ж) размер нахлестки должен быть не менее пяти толщин наиболее тонкого из свариваемых элементов;

з) 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, примы-

кающие к более тонкому либо к более толстому элементу, должны удовлетворять требованиям соответственно катет углового шва k_f не должен превышать $1,2 \cdot t$, где t – наименьшая из толщин свариваемых элементов, а катет шва, наложенного на закругленную кромку фасонного проката толщиной t, как правило, не должен превышать $0,9 \cdot t$;

к) угловые швы следует выполнять с плавным переходом к основному металлу в конструкциях, возводимых в районах с расчетными температурами ниже минус 45 °С, а также в случаях, когда плавный переход обеспечивает повышение расчетного сопротивления усталости сварных соединений.

л) в стыках элементов, перекрываемых накладками, фланговые швы не доводить до оси стыка не менее чем на 25 мм с каждой стороны.

Сварные швы ферм главным образом угловые, поэтому рассчитываются на срез. Расчетная толщина сварного шва зависит от способа сварки, поэтому перед определением длин сварных швов назначают способ сварки. Длины сварных швов определяют с помощью формулы

$$l_w = N / \beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}, \qquad (3.25)$$

где $\beta_f \cdot k_f$ – расчетная толщина шва, мм (β_f - коэффициент для расчета углового шва соответственно по металлу шва принимают по таблице Г);

l_w – длина сварного шва, мм;

k_f – катет углового шва, мм;

R_{wf} – расчетное сопротивление углового шва срезу, Н/мм^2.

Значение коэффициента β_f для расчета углового шва соответственно по металлу шва должно приниматься по таблице Приложения Г.

Опорный узел может иметь два решения - опирание сверху и примыкание сбоку колонны. При опирании сверху опорную часть фермы конструируют исходя из условия размещения болтов, используя данные листового проката.

При примыкании сбоку нужно определить параметры торцевого листа

$$F \geq R_a/R_p, \quad (3.26)$$

где R_a – реакция опоры, кН;

R_p – расчетное сопротивление на смятие, Н/мм^2.

Затем конструируют сечение торцевого листа, исходя из условия размещения болтов и используя данные листового проката, и производят проверку на прочность

$$\sigma_{см} = R_a/ F_{оп} \leq \gamma_c \cdot R_p, \quad (3.27)$$

где $F_{оп}$ – площадь сконструированного торцевого листа, см^2.

Монтажные узлы дополнительно укрепляют горизонтальными и вертикальными накладками, которые необходимо проверить на прочность. Размеры накладок в поперечном сечении назначают конструктивно близкими к размерам полки соединительных уголков, но при этом накладка должна выходить за перо уголка на величину катета шва. Проверка прочности производится по формуле

$$\sigma = N_p/ F_{усл} \leq \gamma_c \cdot R, \quad (3.28)$$

где σ – напряжения в накладке, кН/см^2;

N_p – расчетное усилие в элементе, принимаемое на 20 % большим действительного, т.е. $Np = 1{,}2N$, кН;

$F_{усл}$ – условная площадь накладок, мм^2, $F_{усл} = 2F_н + + t_ф \cdot 2 \cdot b$ ($F_н$ – площадь накладки, $t_ф$ –толщина фасонки, b – ширина полки уголка).

Определяется усилие, передаваемое накладкой: $N_н = \sigma \cdot F_н$ - а затем суммарная длина швов, прикрепляющих листовую накладку

$$l_w = N/ \beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}, \quad (3.29)$$

Значение β_f в монтажном узле назначается β_f = 0,7, т. к. сварка на монтаже - ручная дуговая (таблица Г1).

Параметры вертикальных накладок назначают исходя из конструктивных соображений, а швов поясных и прикрепляющих вертикальные накладки - определяют через расчетное уси-

лие $N_p/2$, т.е. без учета усилия, передаваемого горизонтальными накладками.

Проверку прочности вертикальных накладок ведут по формуле

$$\sigma = N_p/2 \cdot 2 \cdot F_{в.н.} \leq \gamma_c \cdot R_y, \qquad (3.28)$$

где $F_{в.н.}$ – площадь поперечного сечения вертикальной накладки, см^2.

Схемы узлов показаны в примере расчета фермы (см. раздел 4).

3.8 Болтовые соединения ферм

При проектировании болтовых соединений элементов ферм необходимо руководствоваться рекомендациями СП 16.13330.2011 Стальные конструкции:

1. Болты класса точности А следует применять для соединений, в которых отверстия просверлены на проектный диаметр в собранных элементах, либо по кондукторам в отдельных элементах и деталях, либо просверлены или продавлены на меньший диаметр в отдельных деталях с последующей рассверловкой до проектного диаметра в собранных элементах. Болты классов точности В в многоболтовых соединениях следует применять для конструкций из стали с пределом текучести до 375 Н/мм^2.

2. В расчетных соединениях с болтами классов точности А и В (за исключением крепления вспомогательных конструкций) следует предусматривать меры против самоотвинчивания гаек (постановка пружинных шайб, вторых гаек и др.).

3. Расстояние между центрами отверстий для болтов в любом направлении:

а) минимальное:

при $R_{yn} \leq 375$ Н/мм^2 - $2{,}5 \cdot d$;

при $R_{yn} > 375$ Н/мм^2 - $3 \cdot d$, где (d - диаметр отверстия для болта);

4. Расстояние от центра отверстия для болта до края элемента

а) минимальное вдоль усилия:

при $\boldsymbol{R_{yn}} \leq 375$ Н/мм^2 - $2 \cdot \boldsymbol{d}$;

при $\boldsymbol{R_{yn}} > 375$ Н/мм^2 – $2{,}5 \cdot \boldsymbol{d}$;

б) то же, поперек усилия:

при обрезных кромках - $1{,}5 \cdot \boldsymbol{d}$;

при прокатных кромках – $1{,}2 \cdot \boldsymbol{d}$.

5. Диаметр отверстий следует принимать: для болтов класса точности А $\boldsymbol{d} = \boldsymbol{d_b}$; для болтов класса точности В (кроме конструкций опор ВЛ, ОРУ и КС $\boldsymbol{d} = \boldsymbol{d_b} + 1$ мм), $\boldsymbol{d} = \boldsymbol{d_b} + (1; 2$ или 3 мм), где $\boldsymbol{d_b}$ – диаметр болта.

3.9 Технологическая часть

В технологической части должна быть кратко описана технология изготовления спроектированной фермы:

а) описан используемый метод сборки фермы;

б) обоснован выбор способов сварки;

в) указан маршрут сборки и сварки;

г) выбраны сварочные материалы и сварочное оборудование;

д) назначены методы контроля.

4 ПРИМЕР РАСЧЕТА СТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ

Рассчитать и спроектировать стропильную ферму для производственного здания.

Исходные данные:

Тип фермы – 2;

Тип покрытия – холодное с ж/б плитами;

Производственное здание – холодный склад;

Ширина пролета - 24 м;

Место строительства г. Ульяновск;

Начальная высота фермы над колонной - h_0 = 2200 мм;

Шаг колонн – 12 м.

4.1 Компоновка конструкции фермы

4.1.1 Очертание фермы оговаривается в задании на курсовой проект. В рассматриваемом примере примем трапецеидальную ферму, так как она обеспечивает возможность унификации конструктивных схем и, следовательно, индустриализацию их изготовления.

4.1.2 Определение высоты фермы. Вследствие параллельности поясов высота фермы по всей ее длине будет одинаковой. Примем унифицированную для такого очертания фермы и типа покрытия (железобетонные плиты) начальную высоту фермы над колонной h_0, равную по обушкам поясов 2200 мм. Уклон фермы для малоуклонных кровель в типовых конструкциях составляет от 1,5 до 5 %. Примем уклон, равный 1,5 %.

4.1.3 Выбор системы решетки. В фермах трапециевидного очертания рациональной является треугольная система решетки, дающая наименьшую суммарную длину решетки и наименьшее число узлов при кратчайшем пути усилия от места приложения нагрузки до опоры [5]. Для уменьшения расчетной длины элементов сжатого (верхнего) пояса в решетке предусматриваем дополнительные стойки, показанные на рисунке 4.1.

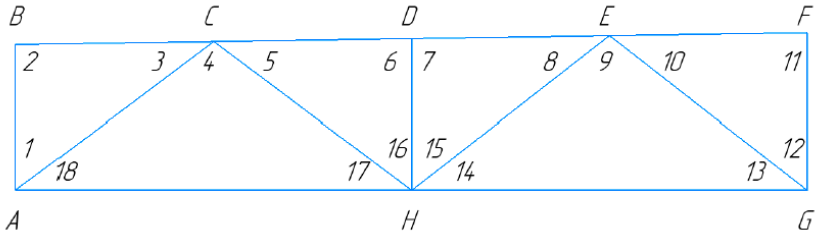


Рисунок 4.1 – Геометрическая схема фермы

4.1.4 Панели фермы. Поскольку нагрузка обычно прикладывается к узлам фермы, панели должны соответствовать расстоянию между элементами, передающими нагрузку на фермы. В стропильных фермах размеры панелей определяются системой кровельного покрытия.

В связи с тем, что для беспрогонных покрытий применяют железобетонные плиты шириной 3 м, длина панели верхнего пояса является унифицированным параметром и составляет 3 м.

4.1.5 Определение геометрических размеров фермы. Используя теоремы о соотношениях внутренних углов в треугольнике, о свойствах смежных углов и др., определим значения углов внутри решетки фермы. Вычисленные значения углов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Значения внутренних углов фермы

Номер угла по рис. 1	∠2 ∠7	∠6 ∠11	∠1 ∠16	∠17 ∠18	∠12 ∠15	∠13 ∠14	∠3	∠4	∠5	∠8	∠9	∠10
Значение угла,°	90,86	89,14	53,13	36,87	52,09	37,91	36,01	106,26	37,73	37,05	104,18	38,77

Пользуясь соотношениями в подобных треугольниках, теоремой Пифагора и теоремами косинусов и синусов, определим геометрические длины стержней фермы. Обозначения стержней и внутренних углов приведены на рисунке 4.1 ***(в пояснительной записке к курсовому проекту этот расчет должен быть приведен***).

Таблица 4.2 – Значения геометрической длины стержней фермы

Обозначение стержня фермы	Значение геометрической длины стержня, мм
BC, CD, DE, EF	3000,34
AH, HG	6000
AC, CH	3747,0
HE, EG	3801,63
BA	2200
DH	2290
FG	2380

4.2 Определение узловых нагрузок, действующих на ферму

Постоянная нагрузка

В соответствии с заданием на курсовой проект выберем состав покрытия. Нагрузки от всех элементов покрытия приведены в таблице 4.3. В дальнейшем значения расчетных равномерно распределенных нагрузок использовались для определения узловых сил.

Таблица 4.3 – Расчетные постоянные нагрузки

Элемент покрытия	Нормативная нагрузка $q_{нi}$, кН/м^2	Коэффициент перегрузки, γ_f	Расчетная нагрузка q_{pi}, кН/м^2
Гидроизоляционный ковер (3 слоя рубероида)	0,1	1,2	0,12
Асфальтовая стяжка h=20мм, γ = 18 кН/м^3	0,36	1,2	0,43
Железобетонные плиты с заливкой швов размером 3х12 (тип 1)	1,80	1,1	1,98
Ферма со связями	0,24	1,05	0,25
Итого Σq_p			q_p = 2,78

Снеговая нагрузка. Величина нормативной снеговой нагрузки в места строительства объекта – г Ульяновск составляет S_g=2,4 кН/м^2 (СП 20.13330.2021), коэффициента схода снега с покрытия c_e =1,0. Коэффициент надежности согласно рекомендациям СП 20.13330.2012 для снеговой нагрузки γ_f = 1,4.

Нормативную снеговую нагрузку определяем по формуле 3.5, а расчетную – по формуле 3.7

$$S_0 = S_g \cdot c_e = 2{,}4 \cdot 1{,}0 = 2{,}4 \text{ кН/м}^2;$$

$$S_p = S_0 \cdot \gamma_f = 2{,}4 \cdot 1{,}4 = 3{,}36 \text{ кН/м}^2.$$

Для определения узловой нагрузки необходимо знать величину площади, с которой собирается нагрузка на узел. Она определяется по формуле

$$F = d \cdot t_ф ,$$

где d – длина панели верхнего пояса, м;

$t_ф$ – шаг ферм (колонн), м.

Определим значение площади для условий задания на проект $F = d \cdot t_ф$ = 3*12 = 36 м.

Нагрузка на крайние узлы фермы определяется по формуле

$$P_{1,n} = P_{1,n}' = 0{,}5 \cdot (\Sigma q_p + S_p) \cdot F$$

$$P_{1,n} = P_{1,n}' = 0{,}5 \cdot (\Sigma q_p + S_p) \cdot F = 0{,}5 \cdot (2{,}78+3{,}36) \cdot 36 = 105{,}0 \text{ кН.}$$

Нагрузки на остальные узлы фермы будут в два раза больше и составят

$$P_2 = P_2' = (\Sigma q_p + S_p) \cdot F = (3{,}44+3{,}0) \cdot 36 = 210, \text{ кН.}$$

Определяем реакции опор для фермы

$$R_А = R_Б = \Sigma P_{1\text{-}9}/2 = (2 \cdot 105{,}0 + 7 \cdot 210{,}0)/2 = 840{,}0 \text{ кН.}$$

4.3 Определение усилий в стержнях фермы

Определение усилий в стержнях фермы может производиться любым методом. В практическом примере будем использовать метод Максвелла-Кремоны (графоаналитический метод). Для его реализации построим схему нагружения (рисунок 4.2) и выберем масштаб построения. Для этого разделим значение реакции опоры на 120 мм, $\mu = R_А/120$, $\mu = R_А/120$ = 840/120 = 7 кН/мм.

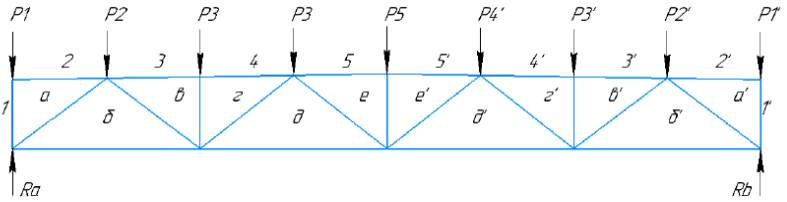


Рисунок 4.2 – Схема нагружения фермы

Построим диаграмму Максвелла-Кремоны (рисунок 4.3). При построении диаграммы направляющие углы векторов сил в стержнях соответствуют углам наклона стержней на геометрической схеме фермы.

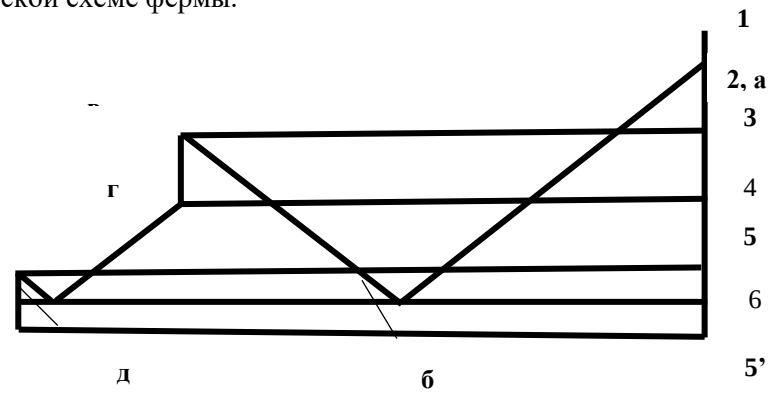


Рисунок 4.3 – Диаграмма Максвелла-Кремоны

Измеряя длину отрезка на диаграмме и умножая на масштаб определим величину внутреннего усилия в стержне фермы. Знак усилия определим в соответствии с правилом определения знаков на векторных диаграммах, если усилие направлено к узлу, то стержень сжат (знак усилия «-»), а если от узла, то растянут (знак «+»). При определении знаков усилий в стержнях обход всех узлов и прочитывание наименования всех векторов нужно делать в одном направлении либо по часовой, либо против часовой стрелким. Полученные данные оформим в виде таблицы 4.4.

Таблица 4.4 – Значения и знаки усилий в стержнях фермы

№	Обозначение элементов	Значение усилий, кН	Знак усилий (сжат «-», растянут «+»)
Верхний пояс			
1	2а	0	-
2	3в	946,54	-
3	4г	946,54	-
4	5е	1240,89	-
Нижний пояс			
5	6б	551,25	+
6	6д	1173,48	+
Стойки			
7	1а	105	-
8	вг	210	-
9	ее'	172,76	-
Раскосы			
10	аб	918,75	-
11	бв	645,82	+
12	гд	376,88	-
13	де	109,48	+

4.4 Подбор поперечных сечений стержней фермы

Для того чтобы определить подбор поперечных сечений, нам потребуются исходные данные:

- Геометрические длины каждого элемента.
- Значения усилий в стержнях фермы и их знаки.
- Место строительства объекта - г. Ульяновск.
- Температура окружающего воздуха в районе строительства объекта в наиболее холодной пятидневке с обеспеченностью 0,98 составляет -36 ºС (СП 131.13330.2021).

По температуре окружающей среды (таблицы 3.3 и 3.4 уч. пособия) выбираем класс прочности стали С390, марку стали 10ХСНД и расчетное сопротивление для марки стали 10ХСНД. Расчетное сопротивление листового, сортового и фасонного проката представлено в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Расчетное сопротивление прокатной стали

Напряженное состояние	Условное обозначение	Расчетные сопротивления, Н/мм^2
		10ХСНД
Растяжение, сжатие, изгиб	R_y	380
Сдвиг	R_s	220
Смятие торцевой поверхности	R_p	530
Расчетное сопротивление болтов на срез	R_{bs}	330 (класс прочности болтов 8,8)

Также необходимо определить толщину фасонок. Она выбирается по наибольшему усилию в опорном раскосе. В данном случае это раскос а-б и его расчетное усилие составляет 918,75 кН. По таблице 3.8 учебного пособия [10] определяем, что для данного элемента фермы следует выбрать толщину фасонки 14 мм. Для остальных фасонок берется толщина на 2 мм меньше, т. е. 12 мм.

Для расчета подбора сечений стержней фермы, необходимо знать расчетные длины плоских ферм, которые находятся согласно таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Расчетные длины плоских ферм

Направление продольного изгиба стержня	Расчетная длина, мм		
	Поясов	Опорных раскосов и стоек	Промежуточных раскосов и стоек
В плоскости фермы	l	l	$0,8*l$
Из плоскости фермы	l_1	l	l

l – геометрическая длина элемента; l_1 – расстояние между узлами, закрепленными от смещения из плоскости фермы.

На основание таблицы 4.6 найдем и занесем значения длины элементов ферм в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Значение длины элементов фермы

Элементы фермы		Расчетная длина, мм	
		В плоскости фермы	Из плоскости фермы
Верхний пояс	2а, 3в, 4г, 5е	3000	3000
Нижний пояс	6б, 6д	6000	6000
Опорные стойки	1а	2200	2200
Опорные раскосы	аб	2998	3747
Промежуточные раскосы	бв	3747	3747
	гд,де	3042	3802
Промежуточные стойки	вг	1832	2290
	ее'	1904	2380

Выбор типа сечения основывается на равноустойчивости элементов конструкции и минимальном расходе металла. Для верхнего пояса, чтобы избежать расходов на правку, будем использовать равнополочные парные уголки. Для опорных раскосов, где $lx = ly$, будем выбрать неравнополочные парные уголки малыми полками в стороны.

Рекомендуемые типы сечений были показаны в разделе 3.1. Выбор типа сечения основывается на минимуме расхода металла и обеспечении равноустойчивости элементов решетки в плоскости и из плоскости, т. е.

$$l_x/r_x \approx l_Y/r_Y, \text{ или } r_x \approx r_Y.$$

При закреплении каждого узла с точки зрения расхода металла выгоднее неравнополочные уголки малыми полками в стороны, так как $r_x \approx r_Y$.

Однако в этом случае пояса легко гнутся и возрастают расходы на правку. В связи с этим чаще используют для верхнего пояса равнополочные парные уголки. Для опорных раскосов, имеющих $l_X = l_y$, выгоднее выбирать сечения из неравнополочных уголков малыми полками в стороны. Остальные сжатые

элементы, имеющие $l_x = 0{,}8 \cdot l_y$, чаще проектируют из равнополочных уголков.

У растянутых элементов решетки главным требованием является условие прочности, поэтому могут быть использованы как равнополочные, так и неравнополочные уголки большими полками в стороны.

Если после выбора связей жесткости $l_Y = 2 \cdot l_X$ для нижнего пояса, то рекомендуется использовать неравнополочные уголки, а во всех остальных случаях – равнополочные. Для остальных растянутых элементов применяют равнополочные парные уголки.

Крестообразные сечения для стоек используются в случае, если к ним прикрепляются связи, перпендикулярные плоскости фермы, например, в середине пролета.

Остальные типы сечений для строительных ферм применяются при наличии специальных требований к конструкции элементов решетки.

Определение площади поперечных сечений элементов решетки начинают с наиболее нагруженных панелей. Рассмотрим подробнее, как это выполняется.

Определяем толщину фасонок в узлах фермы по данным таблицы 3.8 (уч. пособия). Усилие в опорном раскосе составляет КП 980 кН принимаем толщину фасонки в опорном узле 14 мм для остальных узлов толщину фасонок назначаем на 2 мм меньше - по 12 мм.

Подбор требуемой площади поперечного сечения растянутых стержней фермы произведем по формуле

$$F_{тр} = N / \gamma_c \cdot R_y,$$

где $F_{тр}$ - требуемая площадь, мм^2;

N - расчетное усилие в стержне, Н;

γ_c - коэффициент условий работы (см. ниже);

R_y – расчетное сопротивление проката на растяжение, сжатие, изгиб, Н/мм^2.

Значение коэффициента γ_c принимают исходя из следующих соображений: для сжатых основных элементов стропиль-

ных ферм (кроме опорных) γ_c = 0,8; для всех остальных элементов фермы γ_c = 1,0.

После этого по таблице сортамента подбирают сечение, близкое к $F_{тр}/2$, выписывают сведения о

Сечение принимается, если напряжения отличаются от $\gamma_c \cdot R_y$ радиусах инерции с учетом толщины фасонки и проверяем гибкость

$$\lambda_x = l_x/r_x \leq 400,$$
$$\lambda_Y = l_Y/r_Y \leq 400,$$

и далее проверяем прочность $\sigma = N/F_{под} \leq \gamma_c \cdot R_y$.

Рабочие напряжения не должны отличаться от $\gamma_c \cdot R_y$ не более чем на 5 %.

Подбор поперечного сечения стержней нижнего пояса

Подберем поперечное сечение для стержня 6д по вышеприведенной формуле с использованием принятых исходных данных. Принимаем для нижнего пояса неравнополочные уголки малыми полками в сторону.

$$F_{тр} = N/\gamma_c \cdot R_y = 1173{,}48/1{,}0*380 = 3088\ мм^2.$$

По таблице сортамента ГОСТ 8510-86 подберем уголки с близким поперечным сечением. Принимаем неравнополочные уголки 125х80х8 с площадью поперечного сечения одного уголка

$F_{под}$ =1600 мм^2, x_0 = 18,4 мм, r_x = 22,6 мм, r_Y = 61,3 мм при толщине фасонки 12 мм. Проверяем гибкость стержней в плоскости и из плоскости фермы $\lambda_x = l_x/r_x$ = 6000/22,6 = 226 < 400, $\lambda_Y = l_Y/r_Y$ = 6000/61,3 = 97,9 < 400. Условие устойчивости растянутых стержней выполняется.

Проверяем условие прочности $\sigma = N/F_{под}$ = 1173,48/3200 =366,7 $\leq$ *380.* Проверим недогруз поперечного сечения 380-366,7 = 33,3/380=0,034*100 % =3,4 %. Условие допустимого недогруза сечения 5 % выполняется. Оставляем принятое поперечное сечение для стержня 6д.

Подберем поперечное сечение для стержня 6б по вышеприведенной формуле с использованием принятых исходных дан-

ных. Принимаем для нижнего пояса неравнополочные уголки малыми полками в сторону.

$$F_{тр}=N/\gamma_c \cdot R_y = 551{,}25/1{,}0*380 = 1450 \text{ мм}^2.$$

По таблице сортамента ГОСТ 8510-86 подберем уголки с близким поперечным сечением. Принимаем неравнополочные уголки 80х50х8 с площадью поперечного сечения одного уголка

$F_{под}$ = 755 мм^2, x_0 = 11,7 мм, r_x = 14,00 мм, r_Y = 41,3 мм при толщине фасонки 12. Проверяем гибкость стержней в плоскости и из плоскости фермы $\lambda_x = l_x/r_x$ = 6000/14,0 = 428,2>400, $\lambda_Y = l_Y/r_Y$ = 6000/41,3 = 145,3 < 400 Условие устойчивости растянутых стержней не выполняется.

Выбираем другое сечение при условии, что минимальный радиус инерции будет больше 15 мм, а x_0 принятого сечения отличается от x_0 стержня в смежной панели не более чем на (5-10) %. По вышеприведенным рекомендациям может быть принят неравнополочный уголок 110х70х8 с площадью поперечного сечения одного уголка $F_{под}$ = 1390 мм^2, x_0 = 16,4 мм, r_x = 19,8 мм, r_Y = 54,9 мм при толщине фасонки 12 мм. Проверяем гибкость стержней в плоскости и из плоскости фермы $\lambda_x = l_x/r_x$ = 6000/19,8 = 303,2<400, $\lambda_Y = l_Y/r_Y$ = 6000/54,9 = 109 < 400. Условие устойчивости растянутых стержней выполняется. Проверяем условие прочности $\sigma = N/F_{под}$ = 1173,48/3200 =366,7 $\leq$ *380.* Оставляем принятое поперечное сечение для стержня 6б.

Подбор требуемой площади поперечного сечения сжатых стержней пояса произведем по формуле

$$F_{тр}=N/\varphi \cdot \gamma_c \cdot R_y,$$

где φ – коэффициент продольного изгиба. На начальном этапе расчетов его принимают φ = (0,6 - 0,9).

Определив значение $F_{тр}$, по таблице сортамента подбирают значение площади уголка, близкое к $F_{тр}/2$, и значения радиусов инерции с учетом толщины фасонки. Затем определяют гибкость стержней верхнего пояса $\lambda_x=l_x/r_x \leq 120$, $\lambda_Y=l_Y/r_Y \leq$ 120. Для остальных сжатых элементов норма гибкости выше $[\lambda] \leq 150$.

Если гибкости превышают допустимое значение, то выбирают значение площади уголка с большими величинами радиу-

сов инерции и, повторяя эту операцию нужное число раз, добиваются соответствия гибкостей нормам. Для расчетного определения коэффициента продольного изгиба - φ потребуется значение расчетного сопротивления проката и модуля упругости - E марки стали, используемой в проекте. Расчетное сопротивление можно принять по таблице 4.5.

По наибольшей допустимой гибкости определяют значение условной гибкости стержня

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{R_y/E},$$

где E - модуль упругости стали может быть принят равным $E = 2.1 \cdot 10^5$ *Н/мм*^{2}.

Далее определяем значение коэффициента δ в формуле (8) следует вычислять по формуле

$$\delta = 9{,}87(1 - \alpha + \beta \cdot \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2,$$

где α и β для парных уголков принимают α = 0,04, β = 0,14.

Коэффициент устойчивости при центральном сжатии - φ, значение которого при λ ≥ 0,4 следует определять по формуле

$$\varphi = 0{,}5\,(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39{,}48 \cdot \bar{\lambda}^2})/\,\bar{\lambda}^2.$$

Значения коэффициента φ, вычисленные по формуле, следует принимать не более $7{,}6/\bar{\lambda}^2$ при значениях условной гибкости свыше 5,8 для парных уголков. При значениях $\bar{\lambda} < 0{,}4$ для всех типов сечений допускается принимать φ = 1. Значения коэффициента φ приведены в приложении Д. Проверим условие прочности

$$\sigma = N/\,\varphi \cdot F_{под} = \leq \gamma_c \cdot R_y \cdot (1 \pm 0{,}05).$$

Для слабонагруженных элементов требование прочности не выполняется – сечение недогружено. Для сварных ферм не рекомендуется принимать уголки менее 50×5.

Подбор поперечного сечения стержней верхнего пояса

Подберем поперечное сечение по вышеприведенному алгоритму для **стержня верхнего пояса 6д** с использованием принятых исходных данных. Принимаем для нижнего пояса равнополочные уголки, значение коэффициента продольного изгиба φ = 0,7, значение коэффициент условий работы γ_c = 0,8.

$$F_{тр} = N/\varphi \cdot \gamma_c \cdot R_y, = 1240840/0{,}7 \cdot 0{,}8 \cdot 380 = 5831 \text{ мм}^2.$$

Выбираем по сортаменту равнополочных уголков уголок с площадью поперечного сечения близким к $F_{тр}$= 5831/2 = 2916 мм^2. Принимаем уголок 160х160х10 мм, F = 3140 мм^2, x_0 = 43 мм, r_x = 49,6 мм, r_Y = 69,7 мм.

Определим гибкость стержней верхнего пояса $\lambda_x = l_x/r_x = 3000/49,6 = 60,5 < 120$, $\lambda_Y = l_Y/r_Y = 3000/69,7 = 43 < 120$.

По наибольшей допустимой гибкости определяют значение условной гибкости стержня

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{R_y/E} = 60,5 \cdot \sqrt{380/210000} = 2,57.$$

Далее определяем значение коэффициента δ в формуле (8) следует вычислять по формуле

$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta \cdot \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9,87(1 - 0,04 + 0,14 \cdot 2,57) + 2,57^2 = 19,98.$$

Поскольку значение $\bar{\lambda} \geq 0,4$ коэффициент устойчивости при центральном сжатии может быть рассчитан

$$\varphi = 0,5\,(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \cdot \bar{\lambda}^2})/\bar{\lambda}^2 = 0,5*(19,98 - \sqrt{19,98^2 - 39,48 \cdot 2,57^2})/2,57^2 = 0,62.$$

Проверим условие прочности используя полученное значение коэффициента продольного изгиба $\sigma = N/\varphi \cdot F_{под}$ = 1240840/0,62·6280 =318,7 Н/мм^2 . Проверим перегрузку стержня σ- $\gamma_c \cdot R_y$ = 318,7 – 304 = 14,7 Н/мм^2. Полученное значение напряжений в стержне 6д составляет 4,8 % и не превышает допустимой перегрузки ± 5 %. Принимаем выбранное поперечное сечение уголка.

Подберем поперечное сечение по вышеприведенному алгоритму для **стержня верхнего пояса 4г** с использованием принятых исходных данных. Принимаем для нижнего пояса равнополочные уголки, значение коэффициента продольного изгиба φ = 0,7, значение коэффициент условий работы γ_c = 0,8.

$$F_{тр} = N/\varphi \cdot \gamma_c \cdot R_y, = 946540/0,7 \cdot 0,8 \cdot 380 = 4488 \text{ мм}^2.$$

Выбираем по сортаменту равнополочных уголков уголок с площадью поперечного сечения близким к $F_{тр}$= 4488/2 = 2244 мм^2. Принимаем уголок 125х125х10 мм, F = 2430 мм^2 , x_0 = 34,5 мм, r_x = 38,8 мм, r_Y = 56,3 мм.

Определим гибкость стержней верхнего пояса $\lambda_x = l_x/r_x$

=3000/38,8 = 77,4 < 120, $\lambda_Y = l_Y/r_Y$ = 3000/55,8 = 53,3 < 120.

По наибольшей допустимой гибкости определяют значение условной гибкости стержня

$$\bar{\lambda} = \lambda\cdot\sqrt{R_y/E} = 77{,}4\cdot\sqrt{380/210000} = 3{,}29.$$

Далее определяем значение коэффициента δ в формуле (8) следует вычислять по формуле

$$\delta = 9{,}87(1 - \alpha + \beta\cdot\bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9{,}87(1 - 0{,}04 + 0{,}14\cdot 3{,}29) + 3{,}29^2 = 24{,}87.$$

Поскольку значение $\bar{\lambda} \geq 0{,}4$ коэффициент устойчивости при центральном сжатии может быть рассчитан

$$\varphi = 0{,}5\,(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39{,}48\cdot\bar{\lambda}^2})/\bar{\lambda}^2 = 0{,}5*(24{,}97-\sqrt{24{,}87^2 - 39{,}48\cdot 3{,}29^2})/3{,}29^2 = 0{,}51.$$

Проверим условие прочности используя полученное значение коэффициента продольного изгиба $\sigma = N/\varphi\cdot F_{под}$ = 946540/0,51·4860 =381 Н/мм^2 . Проверим перегрузку стержня σ-$\gamma_c \cdot R_y$ = 381 – 304 = 77 Н/мм^2. Полученное значение напряжений в стержне 4г значительно (25 %) превышает допустимую перегрузку, поэтому сечение должно быть пересчитано.

Принимаем сечение 140х140х10 F = 2733 мм^2 , x_0 = 38,2 мм, r_x = 43,4 мм, r_Y = 62,8 мм. Определим гибкость стержней верхнего пояса $\lambda_x = l_x/r_x$ =3000/43,4 = 69,1 < 120, $\lambda_Y = l_Y/r_Y$ = 3000/62,8 = 47,8 < 120.

По наибольшей допустимой гибкости определяют значение условной гибкости стержня

$$\bar{\lambda} = \lambda\cdot\sqrt{R_y/E} = 69{,}1\cdot\sqrt{380/210000} = 2{,}94.$$

Далее определяем значение коэффициента δ в формуле (8) следует вычислять по формуле

$$\delta = 9{,}87(1 - \alpha + \beta\cdot\bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9{,}87(1 - 0{,}04 + 0{,}14\cdot 2{,}94) + 2{,}94^2 = 22{,}18.$$

Поскольку значение $\bar{\lambda} \geq 0{,}4$ коэффициент устойчивости при центральном сжатии может быть рассчитан

$$\varphi = 0{,}5\,(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39{,}48\cdot\bar{\lambda}^2})/\bar{\lambda}^2 = 0{,}5*(22{,}18-\sqrt{22{,}18^2 - 39{,}48\cdot 2{,}94^2})/2{,}94^2 = 0{,}57.$$

Проверим условие прочности используя полученное значение коэффициента продольного изгиба $\sigma = N/\varphi\cdot F_{под}$ =

946540/0,57·5466 =303 Н/мм^2 . Проверим перегрузку стержня σ-$\gamma_c \cdot R_y$ = 304 – 303 = 1 Н/мм^2. Полученное значение напряжений в стержне 4г имеет недогруз 0,3 %, поэтому может быть принято для стержней 4г, 3в, 2а.

Подбор поперечных сечений стержней стоек

Подберем поперечное сечение по вышеприведенному алгоритму для стержней **стоек : 1а, вг, ее'** с использованием принятых исходных данных. Принимаем для стоек равнополочные уголки, значение коэффициента продольного изгиба φ = 0,7, значение коэффициент условий работы принимаем для опорной стойки γ_c = 1,0, для остальных стоек принимаем γ_c = 0,8. Произведем расчет поперечных сечений для опорной стойки 1а и для стойки вг с максимальной нагрузкой.

Подбор сечения для стойки 1а

$$F_{тр}=N/\varphi\cdot \gamma_c \cdot R_y, = 105000/0,7\cdot 1,0\cdot 380 = 394 \text{ мм}^2.$$

Выбираем по сортаменту равнополочных уголков уголок с площадью поперечного сечения близким к $F_{тр}$= 394/2 = 197 мм^2. Принимаем уголок 50х50х5 мм, F = 480 мм^2 , x_0 = 14,2 мм, r_x = 15,3 мм, r_Y = 24,1 мм.

Определим гибкость стержней верхнего пояса $\lambda_x = l_x/r_x = 2200/15,3 = 141,9 > 120$, $\lambda_Y = l_Y/r_Y = 2200/24,1 = 82,5 < 120$.

Из-за гибкости стержня стойки более 120 сечение требует корректировки. Принимаем сечение 63х63х4 мм, , F = 496 мм^2 , x_0 = 16,9 мм, r_x = 19,5 мм, r_Y = 29,7 мм.

Определим гибкость стержней верхнего пояса $\lambda_x = l_x/r_x = 2200/19,5 = 112,6 < 120$, $\lambda_Y = l_Y/r_Y = 2200/29,7 = 74,1 < 120$.

По наибольшей допустимой гибкости определим значение условной гибкости стержня

$$\bar{\lambda} = \lambda\cdot\sqrt{R_y/E} = 112,6\cdot\sqrt{380/210000} = 4,79.$$

Далее определяем значение коэффициента δ в формуле (8) следует вычислять по формуле

$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta\cdot\bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9,87(1 - 0,04 + 0,14\cdot 5,79) + 4,79^2 = 39,06.$$

Поскольку значение $\bar{\lambda} \geq 0,4$ коэффициент устойчивости при центральном сжатии может быть рассчитан

$$\varphi = 0{,}5\ (\delta - \sqrt{\delta^2 - 39{,}48\cdot\bar{\lambda}^2})/\ \bar{\lambda}^2 = 0{,}5*(39{,}06-\sqrt{39{,}06^2 - 39{,}48\cdot 4{,}79^2})/4{,}79^2 = 0{,}31.$$

Проверим условие прочности используя полученное значение коэффициента продольного изгиба $\sigma = N/\ \varphi\cdot F_{под}$ = 105000/0,31·992 =343 Н/мм^2 . Проверим недогруз стержня σ- $\gamma_c \cdot R_y$ = 1,0*380 – 343 = 37 Н/мм^2. Принимаем сечение уголка исходя из условий обеспечения требуемой гибкости.

Подбор сечения для стойки вг

$$F_{тр}=N/\varphi\cdot \gamma_c \cdot R_y = 210000/0{,}7\cdot 0{,}8\cdot 380 = 986 \text{ мм}^2.$$

Выбираем по сортаменту равнополочных уголков уголок с площадью поперечного сечения близким к $F_{тр}$= 986/2 = 493 мм^2. Принимаем уголок 70х70х6 мм, F = 815 мм^2 , x_0 = 19,4 мм, r_x =21,7 мм, r_Y = 32, мм.

Определим гибкость стержней верхнего пояса $\lambda_x = l_x/r_x = 1832/19{,}4 = 84{,}4 < 120$, $\lambda_Y = l_Y/r_Y = 2290/32{,}7 = 53{,}3 < 120$.

По наибольшей допустимой гибкости определим значение условной гибкости стержня

$$\bar{\lambda} = \lambda\cdot\sqrt{R_y/E} = 84{,}4\cdot\sqrt{380/210000} = 3{,}59.$$

Далее определяем значение коэффициента δ в формуле (8) следует вычислять по формуле

$$\delta = 9{,}87(1 - \alpha + \beta\cdot\bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9{,}87(1 - 0{,}04 + 0{,}14\cdot 3{,}59) + 3{,}59^2 = 27{,}33.$$

Поскольку значение $\bar{\lambda} \geq 0{,}4$ коэффициент устойчивости при центральном сжатии может быть рассчитан

$$\varphi = 0{,}5\ (\delta - \sqrt{\delta^2 - 39{,}48\cdot\bar{\lambda}^2})/\ \bar{\lambda}^2 = 0{,}5*(27{,}33-\sqrt{27{,}33^2 - 39{,}48\cdot 3{,}59^2})/\ 3{,}59^2 = 0{,}46.$$

Проверим условие прочности используя полученное значение коэффициента продольного изгиба $\sigma = N/\ \varphi\cdot F_{под}$ = 210000/0,46·1630 =280 Н/мм^2 . Проверим недогруз стержня σ- $\gamma_c \cdot R_y$ = 0,8*380 – 280 = 24 Н/мм^2. Применение уголков меньшего сечения приводит к перегрузу более 5 %, поэтому принимаем сечение уголка исходя из условий обеспечения работоспособности.

Стойка **ее'** нагружено усилием 172,7 кН, которое близко по значению к нагрузке стойки вг. В связи с этим расчет произво-

дить не будем, а примем для всех стоек фермы одно поперечное сечение уголка 70х70х6 мм.

Подбор поперечных сечений стержней раскосов

Подберем поперечное сечение по вышеприведенному алгоритму для стержней сжатых **раскосов : аб, гд** используя принятые исходные данные.

Принимаем для опорного сжатого раскоса неравнополочные уголки, значение коэффициента продольного изгиба $\varphi = 0{,}7$, значение коэффициент условий работы принимаем для опорного раскоса **аб**, растянутых раскосов **бв** и **де** $\gamma_c = 1{,}0$, для раскоса **гд** принимаем $\gamma_c = 0{,}8$.

Произведем расчет поперечного сечения для опорного (сжатого) раскоса **аб**. Принимаем равнополочный уголок.

$$F_{тр}=N/\varphi\cdot\gamma_c\cdot R_y = 918500/0{,}7\cdot1{,}0\cdot380 = 3453 \text{ мм}^2.$$

Выбираем по сортаменту равнополочных уголков уголок с площадью поперечного сечения близким к $F_{тр}$= 3453/2 = 1727 мм^2. Принимаем уголок 140х140х10 мм, F = 2733 мм^2 , x_0 = 38,2 мм, r_x = 43,4 мм, r_Y = 63,2 мм.

Определим гибкость стержней верхнего пояса $\lambda_x = l_x/r_x = 3747/43{,}4 = 86{,}3 < 120$, $\lambda_Y = l_Y/r_Y = 3747/63{,}2 = 59{,}7 < 120$.

По наибольшей допустимой гибкости определим значение условной гибкости стержня

$$\bar{\lambda} = \lambda\cdot\sqrt{R_y/E} = 86{,}3\cdot\sqrt{380/210000} = 3{,}67.$$

Далее определяем значение коэффициента δ в формуле (8) следует вычислять по формуле

$$\delta = 9{,}87(1 - \alpha + \beta\cdot\bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9{,}87(1 - 0{,}04 + 0{,}14\cdot3{,}67) + 3{,}67^2 = 28{,}04.$$

Поскольку значение $\bar{\lambda} \geq 0{,}4$ коэффициент устойчивости при центральном сжатии может быть рассчитан

$$\varphi = 0{,}5\,(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39{,}48\cdot\bar{\lambda}^2})/\bar{\lambda}^2 = 0{,}5*(28{,}04 - \sqrt{28{,}04^2 - 39{,}48\cdot3{,}67^2})/3{,}67^2 = 0{,}45.$$

Проверим условие прочности используя полученное значение коэффициента продольного изгиба $\sigma = N/\varphi\cdot F_{под}$ = 918500/0,45·5466 =374 Н/мм^2 . Проверим недогруз стержня $\sigma - \gamma_c\cdot R_y$ = 1,0*380 – 374 = 6 Н/мм^2. Недогруз составляет 1,5 %, поэтому принимаем сечение уголка исходя из условий обеспечения работоспособности.

Произведем расчет поперечного сечения сжатого раскоса **гд**. Принимаем равнополочный уголок.

$$F_{тр}=N/\varphi\cdot\gamma_c\cdot R_y, = 376880/0,7\cdot0,8\cdot380 = 1771 \text{ мм}^2.$$

Выбираем по сортаменту равнополочных уголков уголок с площадью поперечного сечения близким к $F_{тр}$= 1771/2 = 886 мм^2. Принимаем уголок 110х110х7 мм, F = 1515 мм^2 , x_0 = 29,6 мм, r_x = 34,1 мм, r_Y = 49,9 мм.

Определим гибкость стержней верхнего пояса $\lambda_x = l_x/r_x = 3040/34,1 = 89,2 < 120$, $\lambda_Y = l_Y/r_Y = 3810/49,9 = 76,2 < 120$.

По наибольшей допустимой гибкости определим значение условной гибкости стержня

$$\bar{\lambda} = \lambda\cdot\sqrt{R_y/E} = 89,2\cdot\sqrt{380/210000} = 3,79.$$

Далее определяем значение коэффициента δ в формуле (8) следует вычислять по формуле

$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta\cdot\bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9,87(1 - 0,04 + 0,14\cdot3,79) + 3,79^2 = 29,11.$$

Поскольку значение $\bar{\lambda} \geq 0,4$ коэффициент устойчивости при центральном сжатии может быть рассчитан

$$\varphi = 0,5\,(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48\cdot\bar{\lambda}^2})/\bar{\lambda}^2 = 0,5*(29,11 - \sqrt{29,11^2 - 39,48\cdot3,79^2})/3,79^2 = 0,43.$$

Проверим условие прочности используя полученное значение коэффициента продольного изгиба $\sigma = N/\varphi F_{под}$ = 376880/0,43·3030 =289. Н/мм^2. Проверим недогруз стержня $\sigma - \gamma_c\cdot R_y$ = 0,8*380 - 289 = 15 Н/мм^2. Перегруз составляет 4,9 %, поэтому принимаем сечение уголка исходя из условий обеспечения работоспособности.

Подберем поперечное сечение по вышеприведенному алгоритму для стержней растянутых **раскосов: бв, де** используя принятые исходные данные.

Произведем расчет поперечного сечения, растянутого раскоса **бв** с использованием принятых исходных данных. Принимаем равнополочный уголок.

$$F_{тр}=N/\gamma_c\cdot R_y = 645820/1,0*380 = 1700 \text{ мм}^2.$$

По таблице сортамента ГОСТ 8509-93 подберем уголки с близким поперечным сечением. Принимаем равнополочные уголки 75х75х6 мм с площадью поперечного сечения одного уголка

$F_{под}$ =878 мм^2, x_0 = 20,6 мм, r_x = 23,0 мм, r_Y = 34,8 мм при толщине фасонки 12 мм. Проверяем гибкость стержней в плоскости и

из плоскости фермы $\lambda_x = l_x/r_x$ = 2997,6/23,0 = 129 < 400, $\lambda_Y = l_Y/r_Y$ = 3747/34,8 = 86 < 400. Условие устойчивости растянутых стержней выполняется.

Проверяем условие прочности $\sigma = N/F_{под}$ = ***645820***/1884 =368 ≤ *380*. Проверим недогруз поперечного сечения 380-368 = 12/380=0,032*100 % =3,2 %. Принимаем сечение уголка исходя из условий обеспечения работоспособности.

Произведем расчет поперечного сечения, растянутого раскоса **де**. Принимаем равнополочный уголок.

$$F_{тр}=N/\gamma_c \cdot R_y = 109480/1,0*380 = 288 \text{ мм}^2.$$

По таблице сортамента ГОСТ 8509-93 подберем уголки с близким поперечным сечением.

По таблице сортамента может быть принят любой уголок начиная с 50х50х3 мм, имеющий

$F_{под}$ =296 мм^2, поэтому для уменьшения количества отправных марок уголков принимаем равнополочные уголки 75х75х6 мм.

Подбор поперечных сечений стержней завершен. Сформируем таблицу 4.8 выбранных типоразмеров уголков для стержней фермы. Количество калибров не должно превышать 9 типоразмеров.

Таблица 4.8 – Калибры и типы уголков, принятые для стержней фермы

Элемент фермы	Обозначение стержня по схеме	Типоразмер уголка
Верхний пояс	2 - а	140х140х10
	3 - в	140х140х10
	4 - г	140х140х10
	5 - е	160х160х10
Нижний пояс	6 – б	110х70х8
	6 - д	125х80х8
Стойки	1 - а	70х70х6
	в - г	70х70х6
	е - ё	70х70х6
Раскосы	а – б	140х140х10
	б - в	75х75х6
	г - д	110х110х7
	д - е	75х75х6

4.5 Расчёт и проектирование узлов и деталей

При проектировании узлов фермы производится расчёт длины сварных швов, геометрические размеры фасонок.

Исходные данные:

Основной материал элементов фермы – сталь марки Ст5пс по ГОСТ 14637-89;

Типы поперечных сечений приведены в таблице 7;

Материал фасонок – сталь марки Ст5пс по ГОСТ 14637-89;

Класс стали и её механические свойства приведены в таблице 6.

Способ сварки: в заводских условиях - дуговая сварка в защитном газе по ГОСТ 14771-76 [5].

Сварочные материалы: для сварки в защитном газе - сварочная проволока Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70 [7] и двуокись углерода газообразная по ГОСТ 8050-85 [8]. Проектируемые узлы отмечены на рисунке 5.

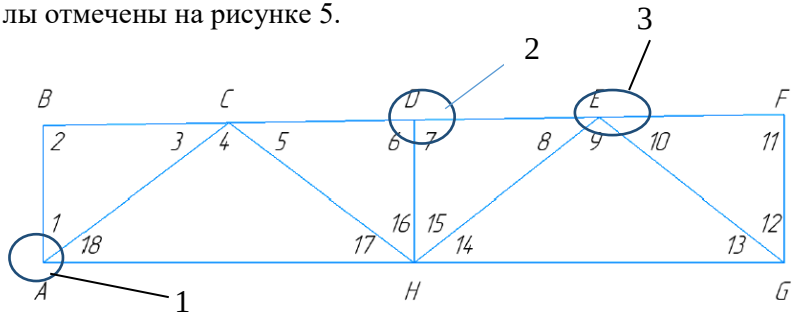


Рисунок 4.4 - Проектируемые узлы фермы

Длины сварных швов определяют по выражению.

$$l_w = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}},$$

где l_w - длина сварного шва, мм;

N – усилие, передаваемое угловыми швами на «обушке» уголка или на «пере» (см. таблицу 4.9);

β_f - коэффициент для расчёта углового шва;

k_f - катет углового шва, мм;

R_{wf} - расчётное сопротивление углового шва срезу, Н/мм^2.

При геометрическом построении узла следует соблюдать следующие рекомендации:

Все осевые линии элементов, входящих в узел, должны пересекаться на осевой линии пояса;

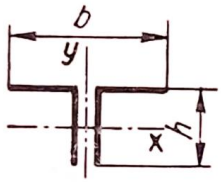
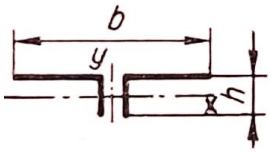
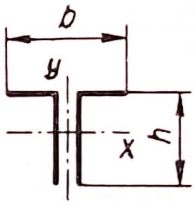
Расстояние между примыкающими элементами в узле должно быть не менее (40 – 50) мм для свободного доступа к швам;

Сварной шов не доходит до края фасонки на 10 мм;

Крепление фермы осуществляем болтами сверху на колонну.

Долю усилия в стержне, передаваемую швами по «перу» и «обушку» примем по таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Доля усилия, передаваемая швами, приваривающими уголки стержня к фасонке

Тип уголка и схема его крепления	Доля усилия в стержне, передаваемая	
	«обушком»	«пером»
	0,7	0,3
	0,75	0,25
	0,68	0,32

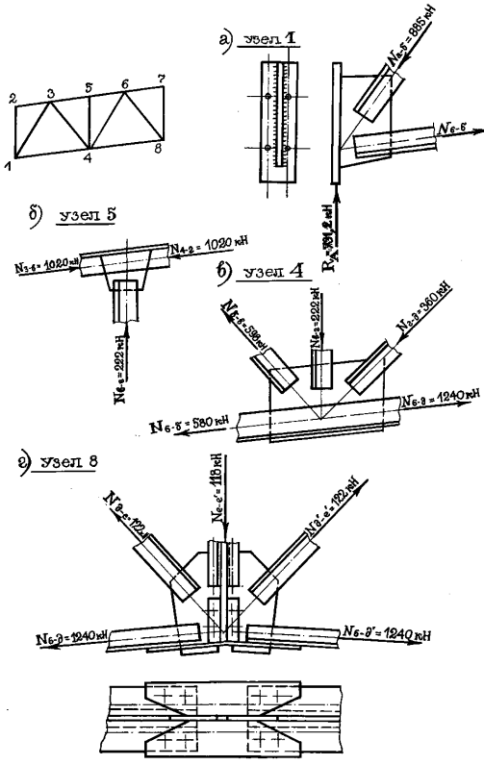


Рисунок 4.5 – К расчету узлов фермы

Определим длины швов в узле 1

Швы выполняются в заводских условиях дуговой сваркой в защитном газе электродной проволокой Ø 1,4 мм, поэтому k_f=0,9. Сначала определяем длины швов опорной стойки 1 - а.

Катеты швов k_f опорной стойки назначаем: на обушке - 5 мм, на пере - 4 мм.

$$l_w^{об} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}7 \cdot 105000}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 4 \cdot 200} = 53 \text{ мм},$$

$$l_w^{п} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}3 \cdot 105000}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 4 \cdot 200} = 23 \text{ мм.}$$

Согласно требованиям, расчётная длина углового шва должна быть не менее 4 k_f и не менее 40 мм. Поэтому шов по опорной стойке назначаем конструктивно с катетом 4 мм, не менее 50 мм.

Далее определяем длины швов опорного раскоса а - б. Катеты швов k_f опорного раскоса назначаем: на обушке – 9 мм, на пере – 4 мм.

$$l_w^{об} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}7 \cdot 918750}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 9 \cdot 215} = 185 \text{ мм,}$$

$$l_w^{п} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}3 \cdot 918750}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 4 \cdot 215} = 178 \text{ мм.}$$

Далее определяем длины швов нижнего пояса 6 - б. Катеты швов k_f нижнего пояса назначаем: на обушке - 9 мм, на пере – 4 мм.

$$l_w^{об} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}75 \cdot 551250}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 9 \cdot 215} = 111 \text{ мм,}$$

$$l_w^{п} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}25 \cdot 551250}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 4 \cdot 215} = 107 \text{ мм.}$$

Определим длины швов в узле 2

Швы выполняются в заводских условиях дуговой сваркой в защитном газе электродной проволокой Ø 1,4 мм, поэтому $\beta_f = 0{,}9$.

В узле производится перемена сечения пояса, поэтому на расстоянии 300 мм за центром узла будет разрыв уголка 160x160x10 с переходом к уголку 140x140x10 и установка горизонтальной накладки толщиной равной толщине фасонки 12 мм. Ширину накладки назначаем ширине полки уголка 160-40 +15 =140 мм. Накладка отодвигается от фасонки на 40 мм и имеет свес на большем уголке на 15 мм.

Рассчитаем горизонтальную накладку в месте перемены сечения пояса.

Исходя из рекомендаций, следует назначать размеры горизонтальных накладок близкими к размерам полки уголков верхнего пояса, но с условием выхода накладок за перо на величину (15 – 20) мм. Так как сечение верхнего пояса представляет собой равнополочные уголки 140х140х10, а толщина фасонки не опорных узлах 12 мм, то горизонтальные накладки принимаем с сечением 140х12 мм. Определим площадь одной накладки и условную площадь накладки. $F_н = b_н * \delta_н = 140*12 = 168$ мм^2.

$$F_{усл} = 2 * F_н + t_ф * 2 * b,$$

где: $F_н$ – площадь накладок, мм^2;

$t_ф$ – толщина фасонки, мм;

b – ширина полки уголка, мм.

$F_{усл} = 2 * F_н + t_ф * 2 * b = 2 * 168 + 2 * 12 * 140 = 672$ мм^2.

Затем нужно произвести проверку накладок на прочность по выражению.

$$\sigma = \frac{N_p}{F_{усл}} \leq R_y,$$

где: N_p – расчетное усилие в элементе, увеличенное на 20 %, Н;

R_y – расчетное сопротивление на сжатие, расстяжение, изгиб, $\frac{Н}{мм^2}$.

Подставляем формулу (5.3) в (5.2) и проверяем прочность стыка:

$$\sigma = \frac{N_p}{F_{усл}} = \frac{1488 \cdot 1000}{672} = 221{,}4 \leq 380 \ \frac{Н}{мм^2}.$$

Затем определяем усилие, которое передается горизонтальной накладке по формуле 5.4.

$$N_{гн} = \sigma \cdot F_н,$$

$$N_{гн} = N_{гн} = \sigma \cdot F_н = 221{,}4 * 168 = 372{,}00 \text{ кН}.$$

Далее рассчитываем длину швов, которые прикрепляют накладку к верхнему поясу.. Катеты швов назначаем

$k_f^{об} = 6$ мм; $k_f^{п} = 4$ мм, а также $\alpha_{об} = 0{,}7$, $\alpha_{п} = 0{,}3$. Длину швов определяем по выражению.

$$l_w^{об} = \frac{\alpha_{об} * N_{гн}}{\beta_f * k_f * R_{wf}} = \frac{0{,}7 \cdot 372 \cdot 1000}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 6 \cdot 200} = 100 \text{ мм.}$$

$$l_w^{п} = \frac{\alpha_{п} * N_{н}}{\beta_f * k_f * R_{wf}} = \frac{0{,}3 \cdot 372 \cdot 1000}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 6 \cdot 200} = 65 \text{ мм.}$$

Согласно требованиям, расчётная длина углового шва должна быть не менее 4 k_f и не менее 40 мм. Поэтому принимаем длины швов, вычисленные расчетным путем.

Определим длины швов стойки в – г. Катеты швов k_f раскоса назначаем: на обушке - 6 мм, на пере - 3 мм.

$$l_w^{об} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}7 \cdot 210000}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 6 \cdot 215} = 63 \text{ мм,}$$

$$l_w^{п} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}3 \cdot 210000}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 3 \cdot 215} = 54 \text{ мм.}$$

Согласно требованиям расчётная длина углового шва должна быть не менее 4 k_f и не менее 40 мм. Поэтому длину швов в узле принимаем по расчету. При необходимости она может быть скорректирована в сторону увеличения конструктивно.

Усилие, передаваемое вертикальной накладкой, определяется по выражению.

$$N_{вн} = N_p - 2 \cdot N_{гн},$$

$$N_{вн} = N_p - 2 \cdot N_{гн} = 1{,}2 \cdot 586{,}65 - 2 \cdot 198{,}94 = 306 \text{ кН}$$

Суммарная длина шва, прикрепляющего вертикальные накладки, определяется по формуле (5.1).

$$l_w = \frac{N_{вн}}{2 \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{306 \cdot 1000}{2 \cdot 0{,}7 \cdot 10 \cdot 200} = 109 \text{ мм}$$

Сначала определяем длины швов верхнего пояса 3 - в. Катеты швов k_f верхнего пояса назначаем: на обушке - 10 мм, на пере - 4 мм.

$$l_w^{об} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}7 \cdot 946000}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 10 \cdot 215} = 187 \text{ мм},$$

$$l_w^{п} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}3 \cdot 946000}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 4 \cdot 215} = 192 \text{ мм}.$$

Определим длины швов в узле 3

Швы выполняются в заводских условиях дуговой сваркой в защитном газе электродной проволокой Ø 1,4 мм, поэтому $\beta_f = 0{,}9$. Сначала определяем длины швов для стержня верхнего пояса 5 - е. Катеты швов k_f назначаем: на обушке - 9 мм, на пере - 4 мм.

$$l_w^{об} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}7 \cdot 1240000}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 9 \cdot 200} = 249 \text{ мм},$$

$$l_w^{п} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}3 \cdot 1240000}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 4 \cdot 200} = 240 \text{ мм}.$$

Далее определяем длины швов для стержня раскоса г - д. Катеты швов k_f раскоса назначаем: на обушке – 9 мм, на пере – 4 мм.

$$l_w^{об} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}7 \cdot 376880}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 4 \cdot 200} = 76 \text{ мм},$$

$$l_w^{п} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}3 \cdot 376880}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 4 \cdot 200} = 73 \text{ мм}.$$

Далее определяем длины швов для стержня раскоса д - е. Катеты швов k_f раскоса назначаем: на обушке – 9 мм, на пере – 4 мм.

$$l_w^{об} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}7 \cdot 109500}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 4 \cdot 200} = 50 \text{ мм},$$

$$l_w^{п} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf}} = \frac{0{,}3 \cdot 109500}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 4 \cdot 200} = 21 \text{ мм}.$$

Согласно требованиям расчётная длина углового шва должна быть не менее 4 k_f и не менее 40 мм. Поэтому длину шва пере раскоса д - е назначаем конструктивно длиной не менее 40 мм.

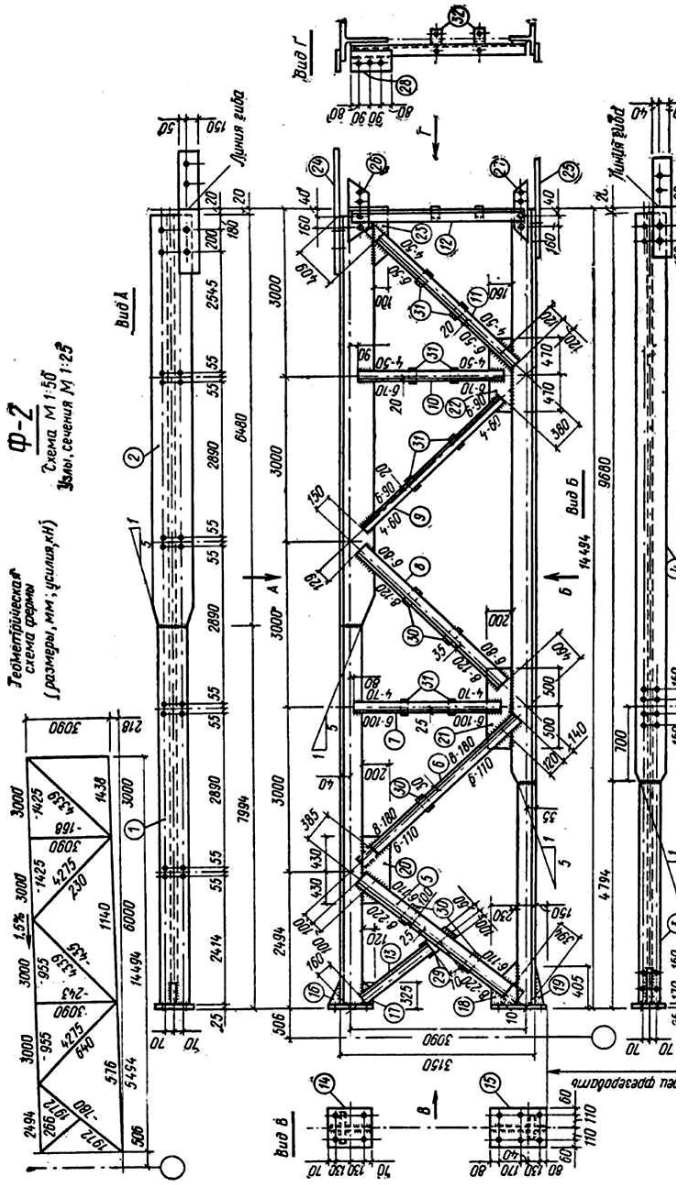


Рисунок 4.4 – Общий вид металлической стропильной фермы

Список использованных источников

1. ГОСТ 23118-2012. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия : дата введения 2013-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 32 с.

2. ГОСТ 27772-2015. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия : дата введения 2015-81-27. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 24 с.

3. ГОСТ 19281-2014. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия : дата введения 2015-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 50 с.

4. СК ОПД 01-142-2019 Положение о курсовом проекте (курсовой работе). Б.и.;

5. СТО АлтГТУ 12570-2013 Образовательный стандарт высшего профессионального образования АлтГТУ. Общие требования к текстовым, графическим и программным документам. Б.и.

6. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции : дата введения 2011-05-20. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 178 с.

7. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия **:** дата введения 2011-05-20. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 96 с.

8. СП 131.13330.2021 Строительная климатология **:** дата введения 2021-06-25. – Москва : Стандартинформ, 2021. – 113 с.

9. СП 53-101-98 Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций : дата введения 1999-05-17. – Москва : ЦПП, 1999. – 50 с.

10. РД 34 15.132-96 Сварка и контроль качества сварных соединений металлоконструкций зданий при сооружении промышленных объектов. - Москва: НПО ОБТ, 2001. – 120 с.

11. Шерешевский И.А. Конструирование промышленных зданий и сооружений. - 3-е изд., перераб. и доп. - Ленинград: Стройиздат. Ленингр. отделение, 1979. - 167 с.

12. Сварка и резка в промышленном строительстве: справочник строителя. - В 2 т. / под ред. Б.Д. Малышева. - Москва: Стройиздат, 1989, т. 1. - 589 с.

13. Сварка и резка в промышленном строительстве: справочник строителя. - В 2 т. / под ред. Б.Д. Малышева. - Москва: Стройиздат, 1989, т. 2. - 392 с.

14. Куркин С.А. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций: атлас / С.А. Куркин, В.М. Ховов, А.С. Рыбачук. - Москва: Машиностроение, 1989. - 327 с.

Приложение А

Форма и пример заполнения титульного листа

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический
университет имени И.И. Ползунова»
Факультет специальных технологий
Кафедра «Малый бизнес в сварочном производстве
имени лауреата Ленинской премии В.Г. Радченко»
Направленность (профиль) «Оборудование и технология
сварочного производства»

Курсовой проект защищен с оценкой

_____

_____Б.И. Семенов
подпись и.о. фамилия
«____»_____ 202_ г.
дата

СВАРНАЯ СТРОПИЛЬНАЯ ФЕРМА
(тема курсового проекта)

Пояснительная записка
по дисциплине «Расчет и проектирование сварных соединений»
КП 15.03.01.12.000 ПЗ
(обозначение документа)

Студент группы МС-31 Попов Станислав Михайлович_____
(фамилия, имя, отчество) подпись, дата

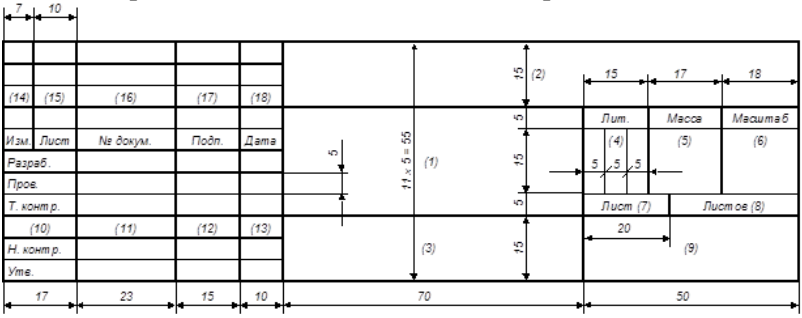
Руководитель проекта доцент, к.т.н. Б.И. Семенов
должность, ученая степень подпись и.о. фамилия

Барнаул 2021

Приложение Б

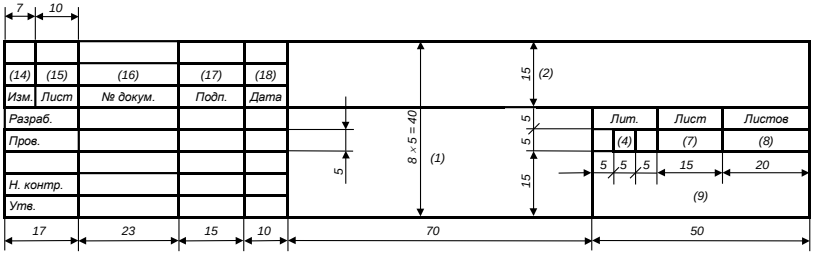
Основные надписи конструкторских документов

Форма 1 – Основная надпись для чертежей и схем

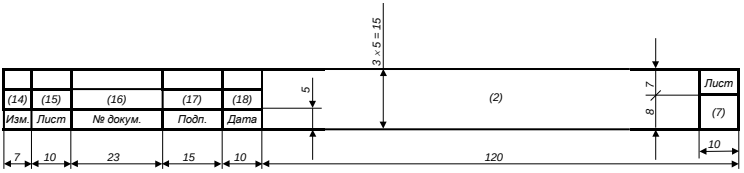


Форма 2 – Основная надпись для заглавных листов текстовых конструкторских документов

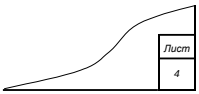
Выполняется на первой странице первого раздела основной части пояснительной записки.



Форма 2а – Основная надпись для последующих листов чертежей и текстовых конструкторских документов



Допускается для последующих листов пояснительной записки следующая форма:



ГРАФЫ ОСНОВНЫХ НАДПИСЕЙ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Графа 1 – наименование изделия и наименование документа, если он имеет код.

Графа 2 – обозначение документа.

Графа 3 – обозначение материала, которое вносят в основную надпись только на чертеже детали.

Графа 4 – колонки литер. Литерами указывают стадии разработки документации (для учебных документов литера «***У***» – учебный).

Графа 5 – масса изделия.

Графа 6 – масштаб изображения.

Графа 7 – порядковый номер листа документа; на документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют.

Графа 8 – общее количество листов данного документа; графу заполняют только на первом листе документа.

Графа 9 – наименование или различительный индекс предприятия, выпустившего документ (наименование университета, факультета, группы).

Графа 10 – характер курсового проекта, выполняемой лицом, подписывающим документ. (Разраб. – студент; Пров. – руководитель; Т. контр. – не заполняется; Н. контр. – руководитель; строка **Утв. для курсового проекта не заполняется.**

Свободную строку заполняют по усмотрению разработчика.

В отчетах об учебных и производственных практиках в графе 10: Пров. – руководитель от предприятия; Н. контр. – руководитель от университета.

Графа 11 – фамилии лиц, подписывающих документ.

Графа 12 – подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 11. Подписи выполняются тушью или пастой.

Графа 13 – дата подписания документа.

Графа 14-18 – таблицы изменений, вводимых в документы после их утверждения (в учебных документах не заполняются).

Графа 30 – дополнительная графа, данные, заполняемые заказчиком (тема курсового проекта).

Примечание – Для проектов с литерой «***У***» допускается в основной надписи формы 2а пояснительной записки, начиная с третьего листа после заглавного, не выполнять графы 2, 14, 15, 16, 17, 18, ограничиваясь только графой 7.

Приложение В

Обозначения, принятые в учебном пособии

$\boldsymbol{P_d}$ – постоянные нагрузки (вес частей сооружений, гидростатической давление);

$\boldsymbol{P_l}$ – длительные нагрузки (вес временных перегородок, нагрузки от складируемых материалов);

$\boldsymbol{P_t}$ – кратковременные нагрузки (климатические нагрузки, нагрузки от транспортных средств);

$\boldsymbol{P_s}$ – особые нагрузки (нагрузки аварийные от технологических процессов, сейсмические и взрывные нагрузки);

$\boldsymbol{S_g}$ – вес снегового покрова на 1 м^2 на горизонтальную проекцию поверхности земли;

$\boldsymbol{S_0}$ – нормативная снеговая нагрузка на горизонтальную проекцию покрытия;

$\boldsymbol{R_{yn}}$ - предел текучести используемого материала;

$\boldsymbol{R_{un}}$ - временное сопротивление используемого материала;

$\boldsymbol{R_y}$ – расчетное сопротивление проката на растяжение, сжатие, изгиб;

$\boldsymbol{R_y = R_{yn}/\gamma_m}$;

$\boldsymbol{R_s}$ – расчетное сопротивление сдвигу, $\boldsymbol{R_s = 0{,}58 \cdot R_y}$;

$\boldsymbol{R_p}$ – смятие торцовой поверхности при наличии пригонки торца;

$\boldsymbol{R_{wy}}$ - расчетное сопротивление стыковых швов на растяжение, сжатие, изгиб.

$\boldsymbol{R_{wy} = R_y}$ для сварных соединений после автоматической, механизированной и ручной дуговой сварки после физических методов контроля швов;

$\boldsymbol{R_{wy} = 0{,}85 \cdot R_y}$ для сварных соединений после автоматической, механизированной и ручной дуговой сварки без физических методов контроля швов;

R_{ws} - расчетное сопротивление стыковых швов сдвигу, $R_{ws} = R_s$;

R_{wf} - расчетное сопротивление угловых швов срезу;

R_{wz} - расчетное сопротивление угловых швов срезу по металлу границы сплавления;

R_{bun} – временное сопротивление используемого металла болтов;

R_{bs} - расчетное сопротивление используемого материала болтов на срез $R_{bs} = 0{,}40 \cdot R_{bun}$;

γ_c - коэффициент условий работы;

γ_f – коэффициент надежности по нагрузке;

γ_m - коэффициент надежности по материалу проката;

γ_b - коэффициент условий работы болтового соединения;

γ_s - коэффициент надежности по устойчивости системы;

c_e – коэффициент сноса снега с покрытий зданий;

τ - касательное напряжение;

σ – нормальное напряжение;

φ - коэффициент устойчивости при центральном сжатии;

λ - условная гибкость;

k_f - катет углового шва;

l_w - длина сварного шва;

λ - гибкость;

β_f - коэффициент для расчета углового шва по металлу шва.

Приложение Г

Справочные материалы по сварным соединениям

РД - ручная дуговая сварка покрытыми электродами (111);

РАД - ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом (141);

МАДП - механизированная аргонодуговая сварка плавящимся электродом (131);

МП – частично механизированная сварка плавящимся электродом в среде активных газов и смесях (135);

АПГ - автоматическая сварка плавящимся электродом в среде активных газов и смесях;

АФ - автоматическая сварка под флюсом (12);

МПГ - механизированная сварка порошковой проволокой в среде активных газов (136).

Примечание – В скобках указан код способа сварки по ГОСТ Р ИСО 4063-2010.

Таблица Г - Значение коэффициента β_f для различных способов сварки (СП 116.13330.2011)

Вид сварки при диаметре сварочной проволоки сплошного сечения d, мм	Положение шва	Значение коэффициента β_f при нормальных режимах сварки и значениях катетов швов k_f мм			
		3 - 8	9 - 12	14 - 16	св 16
АДФ при $Ø_{пр.}$= (3-5) мм	В лодочку	1,1			0,7
	Нижнее	1,1	0,9		0,7
АПГ, МП $Ø_{пр.}$= (1,4 - 2) мм	В лодочку	0,9		0,8	0,7
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	0,9	0,8	0,7	
РД, МП при d < 1,4 или МПГ	В лодочку Нижнее, горизонтальное, вертикальное	0,7			

Приложение Д

Пример выполнения текстового документа

Приложение Е

Температура окружающего воздуха в районе строительства объекта СП 131.13330.2021

Место строительства объекта	Температура воздуха в наиболее холодной пятидневке с обеспеченность 0,98, ºС
Кизляр	-11
Нариманов	-11
Нальчик	-20
Краснодар	-21
Таганрог	-21
Ростов-на-Дону	-22
Ставрополь	-22
Астрахань	-23
Волгоград	-25
Брянск	-26
Воронеж	-28
Санкт-Петербург	-28
Брянск	-29
Москва	-29
Саратов	-29
Пенза	-32
Петрозаводск	-32
Псков	-33
Оренбург	-34
Ярославль	-34
Нижний Новгород	-34
Челябинск	-35
Киров	35
Архангельск	-35
Ульяновск	-36
Самара	-36
Казань	-36
Пермь	-36

Вологда	-37
Великий Устюг	-38
Иркутск	-38
Екатеринбург	-38
Ижевск	-38
Барнаул	-39
Омск	-39
Чита	-39
Букачача	-39
Красноярск	-40
Новосибирск	-40
Тюмень	-40
Борзя	-41
Анадырь	-42
Улан-Удэ	-43
Братск	-46
Нерчинск	-47
Сретенск	-47
Гусиноозерск	-50
Вилюйск	-54
Верхоянск	-61

Приложение Ж

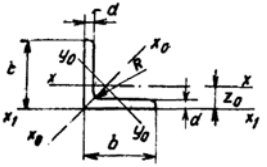
Табличное значение коэффициента продольного изгиба

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициенты φ для типа сечения			Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициенты φ для типа сечения		
	a	*b*	*c*		*a*	*b*	*c*
0,4	999	998	992	5,4	261		255
0,6	994	986	950	5,6	242		240
0,8	981	967	929	5,8	226		
1,0	968	948	901	6,0	211		
1,2	954	927	878	6,2	198		
1,4	938	905	842	6,4	186		
1,6	920	881	811	6,6	174		
1,8	900	855	778	6,8	164		
2,0	877	826	744	7,0	155		
2,2	851	794	709	7,2	147		
2,4	820	760	672	7,4	139		
2,6	785	722	635	7,6	132		
2,8	747	683	598	7,8	125		
3,0	704	643	562	8,0	119		
3,2	660	602	526	8,5	105		
3,4	615	562	492	9,0	094		
3,6	572	524	460	9,5	084		
3,8	530	487	430	10,0	076		
4,0	475	453	401	10,5	069		
4,2	431	421	375	11,0	063		
4,4	393	392	351	11,5	057		
4,6	359	359	328	12,0	053		
4,8	330	330	308	12,5	049		
5,0	304	304	289	13,0	045		
5,2	281	281	271	14,0	039		

Примечание — Значения коэффициентов φ в таблице увеличены в 1000 раз.

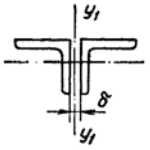
Приложение К

Таблица К1 - Значения радиусов инерции уголков равнополочных с прокладками



Обозначения:

b— ширина полки;
d— толщина полки;
J— момент инерции;
r— радиус инерции

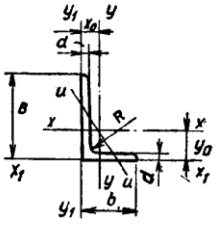


Размеры уголка, мм		R, мм	Площадь сечения F, см²	Масса 1 м, кг	Расстояние центра тяжести z_0, см	Ось x—x		Ось x_1—x_1	Ось x_0—x_0		Ось y_0—y_0		Радиусы инерции r_{y_1} для двух уголков при δ, мм			
b	d					J_x, см⁴	r_x, см	J_{x_1}, см⁴	J_{x_0}, см⁴	x_0, см	J_{y_0}, см⁴	r_{y_0}, см	δ=8	δ=10	δ=12	δ=14
45	4	5	3,48	2,73	1,26	6,63	1,38	12,1	10,5	1,74	2,74	0,89	2,16	2,24	2,32	2,4
	5		4,29	3,37	1,3	8,03	1.37	15,3	12,7	1,72	3,33	0,88	2,18	2,26	2,34	2,42
50	5	5,5	4,80	3,77	1,42	11,2	1,53	20,9	17,8	1,92	4,63	0,98	2,38	2,45	2,53	2,61
56	5	6	5,41	4,25	1,57	16	1,72	29.2	25,4	2,16	6,59	1,1	2,61	2,69	2,77	2,85
63	4	7	4,96	3,9	1,69	18,9	1,95	33,1	29,9	2,45	7,81	1,25	2,86	2,93	3,01	3,09
	5		6,13	4,81	1,74	23,1	1,94	41,5	36,6	2,44	9,52	1,25	2,89	2,96	3,04	3,12
	6		7,28	5,72	1,78	27,1	1,93	50	42,9	2,43	11,2	1,24	2,91	2,99	3,06	3,14
70	5	8	6,86	5,38	1,9	31,9	2,16	56,7	50,7	2,72	13,2	1,39	3,16	3,23	3,30	3,38
	6		8,15	6,39	1,94	37,6	2,15	68,4	59,6	2,71	15,5	1,38	3,18	3,25	3,33	3,4

Продолжение таблицы К1

75	5 6	9	7,39 8,78	5,80 6,89	2,02 2,06	39,5 46,6	2,31 2,3	69,6 83,9	62,6 73,9	2,91 2,9	16,4 19,3	1,49 1,48	3,35 3,37	3,42 3,44	3,49 3,52	3,57 3,6
80	6 7	9	9,38 10,8	7,36 8,51	2,19 2,23	57 65,3	2,47 2,45	102 119	90,4 104	3,11 3,09	23,5 27	1,58 1,58	3,58 3,6	3,65 3,67	3,72 3,75	3,8 3,82
90	6 7	10	10,6 12,3	8,33 9,64	2,43 2,47	82,1 94,3	2,78 2,77	145 169	130 150	3,5 3,49	34 38,9	1,79 1,78	3,97 3,99	4,04 4,06	4,11 4,13	4,19 4,21
100	7 8 10	12	13,8 15,6 19,2	10,8 12,2 15,1	2,71 2,75 2,83	131 147 179	3,08 3,07 3,05	231 265 333	207 233 284	3,88 3,87 3,84	54,2 60,9 74,1	1,98 1,98 1,96	4,38 4,4 4,44	4,45 4,47 4,52	4,52 4,54 4,59	4,6 4,62 4,67
110	8	12	17,2	13,5	3	198	3,39	353	315	4,28	81,8	2,18	4,8	4,87	4,95	5,02
125	9 10	14	22 24,3	17,3 19,1	3,4 3,45	327 360	3,86 3,85	582 649	520 571	4,86 4,84	135 149	2,48 2,47	5,41 5,44	5,48 5,52	5,56 5,58	5,63 5,66
140	9 10	14	24,7 27,3	19,4 21,5	3,78 3,82	466 512	4,34 4,33	818 911	739 814	5,47 5,46	192 211	2,79 2,78	6,02 6,05	6,1 6,12	6,16 6,19	6,24 6,26
160	10 12	16	31,4 37,4	24,7 29,4	4,3 4,39	774 913	4,96 4,94	1356 1633	1229 1450	6,25 6,23	319 376	3,19 3,17	6,84 6,88	6,91 6,95	6,97 7,02	7,05 7,09
180	11 12	16	38,8 42,2	30,5 33,1	4,85 4,89	1216 1317	5,6 5,59	2128 2324	1933 2093	7,06 7,04	500 540	3,59 3,58	7,67 7,69	7,74 7,76	7,81 7,83	7,88 7,90
200	12 13 14 16 20 25 30	18	47,1 50,9 54,6 62 76,5 94,3 111,5	37 39,9 42,8 48,7 60,1 74 87,6	5,37 5,42 5,46 5,54 5,7 5,89 6,07	1823 1961 2097 2363 2871 3466 4020	6,22 6,21 6,2 6,17 6,12 6,06 6,00	3182 3452 3722 4264 5355 6733 8130	2896 3116 3333 3755 4560 5494 6351	7,84 7,83 7,81 7,78 7,72 7,63 7,55	749 805 861 970 1182 1438 1688	3,99 3,98 3,97 3,96 3,93 3,91 3,89	8,48 8,50 8,52 8,56 8,65 8,74 8,83	8,55 8,58 8,6 8,64 8,72 8,81 8,9	8,62 8,64 8,66 8,70 8,79 8,88 8,97	8,69 8,71 8,73 8,77 8,86 8,95 9,05

Таблица К2 - Уголки стальные горячекатаные неравнополочные



Обозначения:

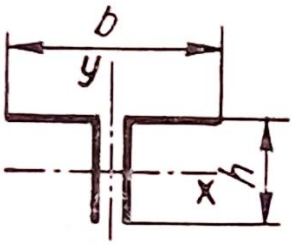
B — ширина большой полки;
b — ширина малой полки;
d — толщина полки;
J — момент инерции;
r — радиус инерции

Размеры уголка, в мм			R, мм	Площадь сечения F, см²	Масса 1 м, кг	Расстояние центра тяжести		Ось x—x		Ось y—y		Ось x_1—x_1	Ось u_1—u_1	Ось u—u		Радиусы инерции r_y для двух уголков при δ, мм				Радиусы инерции r_y для двух уголков при δ, мм			
B	b	d				u_0, см	x_0, см	J_x, см⁴	r_x, см	J_y, см⁴	r_y, см	J_{x1}, см⁴	J_{y1}, см⁴	J_u, см⁴	r_u, см	δ=8	δ=10	δ=12	δ=14	δ=8	δ=10	δ=12	δ=14
56	36	4 5	6	3,58 4,41	2,81 3,46	1,82 1,86	0,84 0,88	11,4 13,8	1,78 1,77	3,7 4,48	1,02 1,01	23,2 29,2	6,25 7,91	2,19 2,66	0,78 0,78	1,6 1,63	1,68 1,71	1,76 1,79	1,84 1,78	2,85 2,87	2,93 2,95	3,01 3,03	3,09 3,11
63	40	5 6	7	4,98 5,9	3,91 4,63	2,08 2,12	0,95 0,99	19,9 23,3	2 1,99	6,26 7,28	1,12 1,11	41,4 49,9	10,8 13,1	3,73 4,36	0,86 0,86	1,75 1,78	1,83 1,86	1,91 1,94	1,99 2,02	3,19 3,21	3,26 3,29	3,34 3,37	3,42 3,45
70	45	5	7,5	5,59	4,39	2,28	1,05	27,8	2,23	9,05	1,27	56,7	15,2	5,34	0,98	1,93	2,01	2,08	2,17	3,49	3,56	3,64	3,72
75	50	5 6	8	6,11 7,25	4,79 5,69	2,39 2,44	1,17 1,21	34,8 40,9	2,39 2,38	12,5 14,6	1,43 1,42	69,8 83,9	20,8 25,2	7,24 8,48	1,09 1,08	2,12 2,15	2,20 2,22	2,28 2,3	2,36 2,38	3,67 3,70	3,75 3,78	3,83 3,86	3,9 3,94

Продолжение таблицы К2

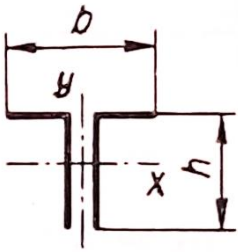
80	50	5 6	8	6,36 7,55	4,99 5,92	2,6 2,65	1,13 1,17	41,6 49	2,56 2,55	12,7 14,8	1,41 1,40	81,6 102,0	20,8 25,2	7,58 8,88	1,09 1,08	2,08 2,10	2,16 2,18	2,23 2,26	2,3 2,34	3,94 3,97	4,02 4,05	4,11 4,13	4,19 4,21
90	56	6 8	9	8,54 11,18	6,7 8,77	2,95 3,04	1,28 1,36	70,6 90,9	2,88 2,85	21,2 27,1	1,58 1,56	145 194	35,2 47,8	12,7 16,3	1,22 1,21	2,3 2,35	2,38 2,43	2,45 2,5	2,53 2,58	4,41 4,47	4,49 4,55	4,57 4,62	4,65 4,7
100	63	6 7	10	9,59 11,1	7,53 8,7	3,23 3,28	1,42 1,46	98,3 113	3,2 3,19	30,6 35	1,79 1,78	198 232	49,9 58,7	18,2 20,8	1,38 1,37	2,55 2,57	2,62 2,64	2,7 2,72	2,77 2,78	4,84 4,87	4,92 4,95	4,99 5,02	5,07 5,1
110	70	6,5 8	10	11,4 13,9	8,98 10,9	3,55 3,61	1,58 1,64	142 172	3,53 3,51	45,6 54,6	2 1,98	286 353	74,3 92,3	26,9 32,2	1,53 1,52	2,82 2,84	2,89 2,92	2,97 2,99	3,04 3,07	5,31 5,33	5,38 5,41	5,45 5,49	5,53 5,56
125	80	8 10	11	16 19,7	12,5 15,5	4,05 4,14	1,84 1,92	256 312	4 3,98	83 100	2,28 2,26	518 649	137 173	48,8 59,3	1,75 1,74	3,19 3,23	2,27 3,31	3,34 3,37	3,41 3,46	5,98 6,04	6,06 6,11	6,13 6,19	6,21 6,27
140	90	8 10	12	18 22,2	14,1 17,5	4,49 4,58	2,03 2,12	364 444	4,49 4,47	120 146	2,58 2,56	727 911	194 245	70,3 85,5	1,98 1,96	3,55 3,59	3,61 3,67	3,69 3,74	3,76 3,82	6,64 6,69	6,72 6,77	6,79 6,84	6,86 6,92
160	100	9 10 12	13	22,9 25,3 30	18 19,8 23,6	5,19 5,23 5,32	2,23 2,28 2,36	606 667 784	5,15 5,13 5,11	186 204 239	2,85 2,84 2,82	1221 1359 1634	300 335 405	110 121 142	2,2 2,19 2,18	3,83 3,90 3,95	3,95 3,97 4,02	4,02 4,04 4,09	4,09 4,12 4,16	7,60 7,62 7,67	7,67 7,69 7,74	7,75 7,77 7,82	7,82 7,84 7,9
180	110	10 12	14	28,3 33,7	22,2 26,4	5,88 5,97	2,44 2,52	952 1123	5,8 5,77	276 324	3,12 3,1	1933 2324	444 537	165 94	2,42 2,4	4,22 4,26	4,29 4,33	4,36 4,4	4,48 4,47	8,55 8,6	8,62 8,67	8,7 8,75	8,77 8,82
200	125	11 12 14 16	14	34,9 37,9 43,9 49,8	27,4 29,7 34,4 39,1	6,5 6,54 6,62 6,71	2,79 2,83 2,91 2,99	1449 1568 1801 2026	6,45 6,43 6,41 6,38	446 482 551 617	3,58 3,57 3,54 3,52	2920 3189 3726 4254	718 786 922 1061	264 285 327 367	2,75 2,74 2,73 2,72	4,79 4,81 4,85 4,89	4,86 4,88 4,92 4,95	4,93 4,95 4,99 5,03	5 5,02 5,06 5,1	9,44 9,46 9,5 9,55	9,51 9,54 9,58 9,63	9,59 9,62 9,65 9,7	9,66 9,68 9,73 9,78

Приближенное расчетное значение радиусов инерции



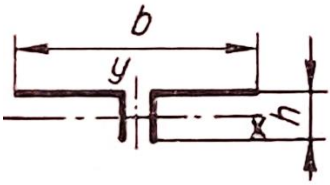
$$i_x = 0{,}30h;$$
$$i_y = 0{,}215b;$$
$$i_y \approx 1{,}5 i_x$$

Рисунок К1 – К определению радиусов инерции парных равнополочных уголков



$$i_x = 0{,}32h;$$
$$i_y = 0{,}20b$$

Рисунок К2 – К определению радиусов инерции парных неравнополочных уголков малыми полками в сторону



$$i_x = 0{,}28h;$$
$$i_y = 0{,}24b;$$
$$i_y \approx 2{,}5 i_x$$

Рисунок К3 – К определению радиусов инерции парных неравнополочных уголков большими полками в сторону