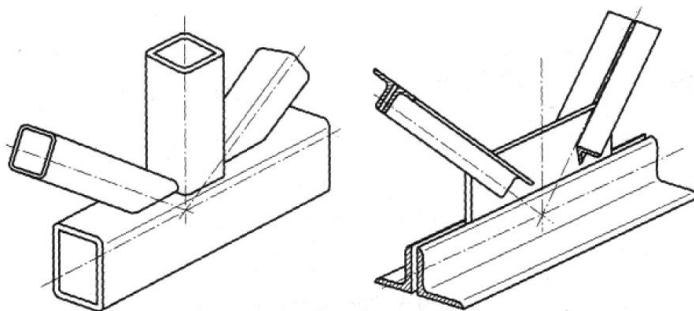


# РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ



Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»**

# **РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Методические указания  
для студентов очного и заочного отделений,  
обучающихся по направлению 22.03.01  
«Материаловедение и технологии материалов»

*Учебное электронное издание*



---

Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2024

УДК 621.791  
ББК К441.12я73-5  
Р24

Рекомендовано Методическим советом университета

Рецензент

Доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Энергообеспечение предприятий  
и теплотехника» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

*А. Н. Грибков*

**Р24** **Расчет** и проектирование сварных соединений [Электронный ресурс]: метод. указания / сост.: М. Д. Мордасов, Д. М. Мордасов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 1,6 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Приводятся примеры расчета сварной фермы, балки и колонны, и все вспомогательные материалы, необходимые при выполнении курсовой работы по дисциплине «Расчет и проектирование сварных соединений».

Предназначены для студентов очного и заочного отделений, обучающихся по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», также могут быть полезны студентам инженерных специальностей при изучении ими дисциплин «Технология сварочного производства», «Технологии конструкционных материалов» и т.п.

УДК 621.791  
ББК К441.12я73-5

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.  
Незаконное копирование и использование данного продукта запрещено.*

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2024

## ВВЕДЕНИЕ

Несущим стальным конструкциям для зданий с самого начала пришлось остро соперничать с бетонными и каменными. Сталь применяли только тогда, когда свойства общепринятых материалов были недостаточными. Примером может служить Эйфелева башня в Париже. В то время невозможно было возвести подобное сооружение из бетона. Развитие сварочной технологии изменило отношение к ней. Значительное сокращение стоимости производства и времени изготовления сделали стальные конструкции конкурентоспособными во многих областях. Экономичное превосходство сварных конструкций стало очевидным.

С 1920 года в США были начаты проектные исследования по созданию конструкций несущих каркасов для многоэтажных зданий с использованием сварочной технологии.

Результаты этих исследований и ожидания снижения стоимости строительства были настолько убедительными, что 7-этажная больница Калифорнийского университета была построена за один месяц. Сообщалось, что при этом использовали 10 сварочных установок, которыми сварили более чем 3500 м швов. Несколькими годами позже этот успех привлек внимание европейских конструкторов. В 1922 году в Германии (Neese) была представлена на рассмотрение первая докторская диссертация, посвященная деталям конструкций, проектированию, анализу и проверке качества сварных соединений.

В 20-е годы по всему миру было воздвигнуто несколько зданий с применением сварки: в Германии построены заводские здания, 13-этажное здание возведено в Катовицах (Польша) и 20-этажное – в Швейцарской Лозанне. Строительство здесь проходило по обычной технологии: изготовление элементов конструкций в цехе с использованием всех установок оснастки, приборов и доступных для автоматизации средств, а затем последующее возведение здания на монтажной строительной площадке с помощью сварки, а иногда и болтовых соединений.

После этой ранней, более или менее экспериментальной стадии новой технологии, потребовались правила и нормативы. Первые нормативы были введены в Германии в 1926 году. Затем в Польше в 1927 году был опубликован норматив «Стандартное производство металлоконструкций с использованием дуговой сварки». Позднее за ними последовали все промышленно развитые страны. В 1930-е годы

сварка была внедрена в технологию сооружения небоскребов и высотных зданий: 32-этажное здание в Лос-Анджелесе, 19-этажное в Варшаве, Литтори-Тауэр высотой 116 м в Милане.

В настоящее время большие технические и экономические преимущества сварных конструкций обеспечили им широкое распространение в различных отраслях промышленности, строительства и транспорта. Помимо прямой экономии материалов, трудозатрат и времени на производство сварных конструкций, сварка открывает новые возможности механизации и автоматизации производственных процессов, создает условия для повышения производительности труда, высвобождает значительное количество рабочих и тем облегчает регулирование рабочей силы в народном хозяйстве страны, позволяет увеличивать выпуск продукции с имеющихся производственных площадей, а при организации новых производств требует значительно меньших капиталовложений, чем литейное или кузнечное производство. Применение наплавки защитных поверхностей позволяет повысить долговечность изделий и конструкций, подвергающихся повышенному износу и воздействию агрессивных сред.

Целью расчета металлических сварных соединений является строгое обоснование их габаритных размеров, размеров поперечных сечений и их соединений, обеспечивающих необходимую надежность, долговечность и экономичность. Эти требования часто противоречат друг другу, поэтому проектирование является процессом поиска оптимального решения.

## **1. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ**

В силу большого разнообразия сварных конструкций существует множество их различных классификаций. В общем случае все сварные конструкции могут быть классифицированы по следующим признакам:

- целевому назначению;
- применяемым материалам;
- толщине свариваемых материалов;
- способу получения заготовок;
- виду конструкции и особенностям эксплуатационных нагрузок.

По целевому назначению металлоконструкции бывают строительные, машиностроительные конструкции и трубопроводы.

По применяемым материалам различают металлические (стальные, алюминиевые, титановые и др.) и пластмассовые конструкции.

В зависимости от толщины свариваемых материалов различают тонкостенные и толстостенные конструкции.

По способу получения заготовок различают конструкции лито-сварные, кованосварные, штамповарные, листовые; клеесварные, сварноклепаные и др. Например, заготовки штамповарной конструкции выполняют методом штамповки, а их соединение в конструкцию выполняют сваркой; соединение заготовок в сварноклепаных конструкциях выполняется с помощью клепки и сварки.

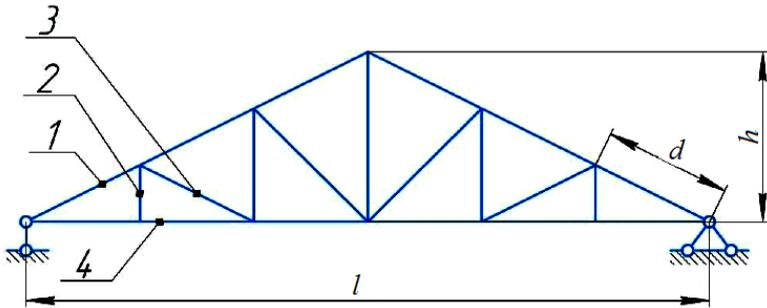
По виду конструкции и особенностям эксплуатационных нагрузок различают следующие сварные конструкции:

- балки (работают на поперечный изгиб);
- колонны (работают на сжатие или на сжатие с продольным изгибом);
- решетчатые конструкции (работают на растяжение или сжатие, представляют собой систему стержней, соединенных жестко между собой в узлах. К ним относятся: фермы, связи, опоры транспортеров, мачты линий электропередачи, сетки арматуры железобетона и др.);
- оболочковые конструкции (различные емкости, резервуары, аппараты и трубопроводы, к которым предъявляются требования прочности и плотности);
- корпусные транспортные конструкции (корпуса судов, вагонов, кузова автомобилей и др.);
- детали машин и приборов (работают при переменных многоцикловых нагрузках. К ним относятся станины, валы, колеса и др.).

Наиболее трудоемкими в исполнении и сложными в расчете являются решетчатые конструкции. Сварные швы в таких конструкциях имеют различную ориентацию в пространстве, а их длина не превышает 400 мм. Такие конструкции варятся полуавтоматической сваркой в защитном газе, порошковой или самозащитной проволокой, а также ручной дуговой сваркой штучными электродами. Автоматическая и роботизированная сварка для сборки таких конструкций не применяется по экономическим причинам, в силу наличия коротких, криволинейных и труднодоступных швов.

Решетчатые конструкции изготавливаются из металла толщиной до 10 мм; суммарная толщина редко превышает 40...60 мм.

Широкое распространение среди решетчатых конструкций строительного назначения получили фермы.

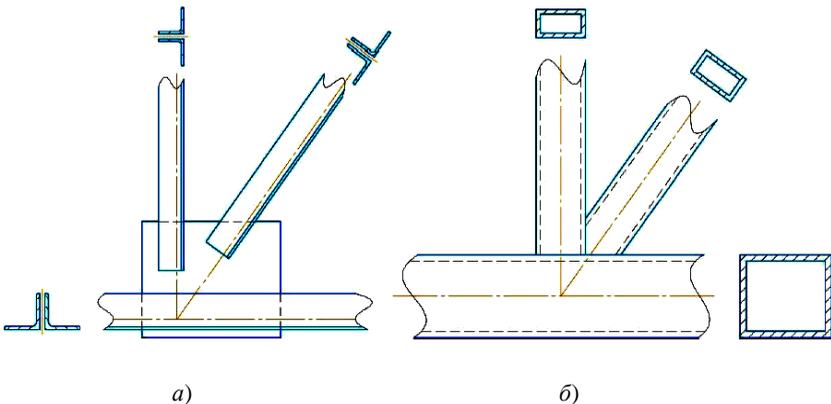


**Рис. 1. Стропильная ферма**

Стропильная ферма (рис. 1) состоит из верхнего 1 и нижнего 4 поясов, образующих контур фермы, и решетки, состоящей из стоек 2 и раскосов 3. Соединение элементов в узлах происходит с помощью фасонки (рис. 2, а) или путем примыкания одних элементов к другим (рис. 2, б) [1, 2].

Расстояние между соседними узлами поясов называется панелью ( $d$ ), а расстояние между опорами – пролетом ( $l$ ) (рис. 1).

По очертанию балочных ферм различают полигональные, сегментные с параллельными поясами, трапециевидные и треугольные фермы (рис. 3).

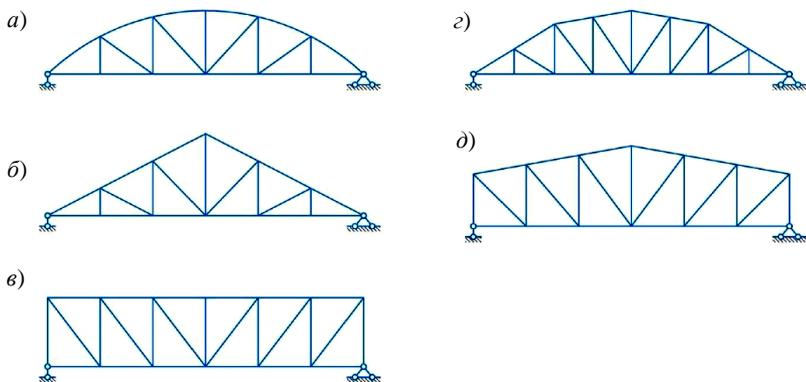


а)

б)

**Рис. 2. Узлы ферм:**

а – на фасонках; б – с примыканием элементов



**Рис. 3. Очертания балочных ферм:**

*a* – сегментное; *б* – треугольное; *в* – с параллельными поясами;  
*г* – полигональное; *д* – трапециевидное

На рисунке 4 показаны различные типы решеток (треугольная, треугольная с дополнительными стойками, раскосная нисходящая, раскосная восходящая, шпренгельная, ромбическая, перекрестная, полураскосная).

Технологический процесс изготовления сварной фермы начинается с изготовления ее элементов: уголков, фасонок, стержней, решеток и т.п. по заданным чертежам.

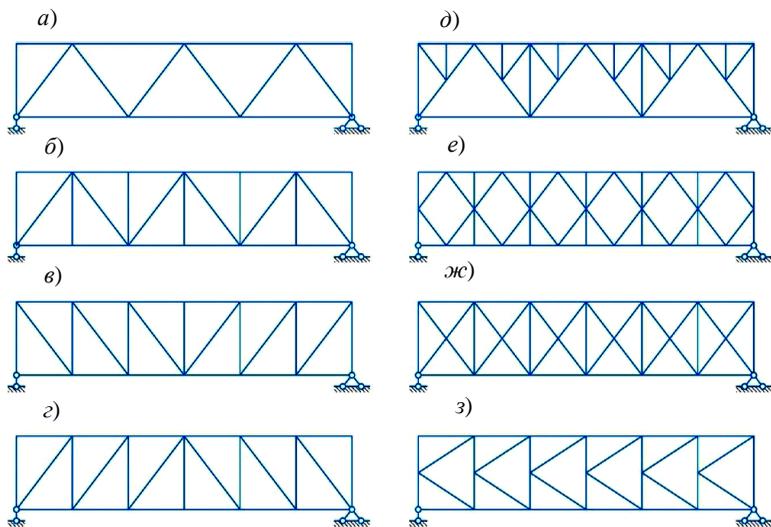
Собирают и сваривают фермы по разметке, по контуру и в кондукторах.

Узлы фермы сваривают последовательно от середины к опорам, так напряжения металла в узлах фермы будут минимальными.

При наличии швов различного сечения вначале накладывают швы с большим сечением, а затем – с меньшим.

В решетчатых конструкциях каждый элемент прихватывается с двух сторон швами длиной не менее 30 мм с катетом шва не менее 5 мм. Сборочные прихватки выполняются сварочными материалами тех же марок, какие используются при сварке конструкции.

Стержни решетки, например из уголков, собирают с другими элементами обваркой по контуру, иногда фланговыми или лобовыми швами. В первую очередь выполняют стыковые швы, а затем – угловые.



**Рис. 4. Решетки балочных ферм:**

*a* – треугольная; *б* – треугольная с дополнительными стойками;  
*в* – раскосная нисходящая; *г* – раскосная восходящая; *д* – шпренгельная;  
*е* – ромбическая; *ж* – перекрестная; *з* – полураскосная

Близкорасположенные друг к другу швы нельзя выполнять сразу; надо охладить тот участок основного металла, на котором будет выполняться второй, близкорасположенный шов. Это необходимо для того, чтобы уменьшить перегрев металла и величину зоны пластических деформаций от сварки; в результате этого работоспособность сварного узла возрастет.

## **2. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Целью выполнения курсовой работы является:

- систематизация и закрепление теоретических знаний и практических умений;
- получение навыков владения методикой инженерных расчетов и конструирования сварных конструкций;
- формирование умений использовать справочную, нормативно-техническую документацию;
- развитие творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности.

Тема курсовой работы – «Расчет и проектирование сварной фермы».

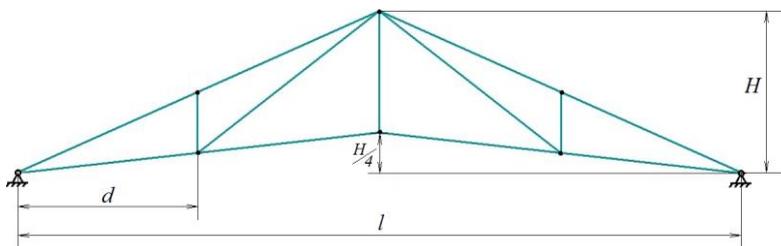
## Содержание:

1. Введение
2. Описание изделия и применяемых материалов
  - 2.1. Описание конструкции фермы
  - 2.2. Описание материала элементов конструкции
  - 2.3. Описание способа сварки и выбор сварочных материалов
3. Расчетная часть
  - 3.1. Описание выбранного метода расчета
  - 3.2. Геометрическая неизменяемость фермы
  - 3.3. Геометрический расчет сварной фермы
  - 3.4. Определение усилий в узлах фермы
  - 3.5. Выбор длины и площади сечения элементов сварной фермы
  - 3.6. Конструирование фасонки
  - 3.7. Расчет сварных швов
4. Анализ технологичности принятых технических решений
5. Заключение
6. Список использованных источников

Исходные данные по вариантам представлены в табл. 1.

### 1. Исходные данные для проектирования сварной фермы

№ варианта	Пролет $l$ , м	Шаг $d$ , м	Сортамент	Узловые нагрузки $P_{уз}$ , кН	Внеузловые нагрузки $P_{шт}$ , кН	Марка стали
1	20	5	Сталь прокатная угловая равнополочная (ГОСТ 8509–72)	80	40	Ст3
2	24	6		100	50	
3	28	7		120	60	
4	32	8		130	65	
5	36	9		140	70	
6	20	5	Сталь прокатная угловая неравнополочная (ГОСТ 8510–76)	100	50	09Г2С
7	24	6		110	55	
8	28	7		120	60	
9	32	8		140	70	
10	36	9		160	80	
11	20	5	Сталь прокатная угловая неравнополочная (ГОСТ 8510–76)	120	60	10ХСНД
12	24	6		140	70	
13	28	7		160	80	
14	32	8		180	90	
15	36	9		200	100	



**Рис. 5. Расчетная схема сварной фермы**

Студент, используя содержание кратких сведений из теории, данные таблиц, соблюдая последовательность изложения разделов настоящих методических указаний, выполняет расчет сварной фермы, изображенной на рис. 5.

Высоту фермы  $H$  следует принять равной 3,5 м. Для присоединения стержней использовать полуавтоматическую сварку в среде защитного газа по ГОСТ 14771–76.

### **Требования к оформлению курсовой работы**

Курсовая работа должна соответствовать выбранной теме, содержать все основные разделы и графический материал в соответствии с заданием. Оформление должно соответствовать требованиям СТО ФГБОУ ВО «ТГТУ» 07–2017 «Выпускные квалификационные работы и курсовые проекты (работы). Общие требования».

### **3. ПОРЯДОК РАСЧЕТА СВАРНОЙ ФЕРМЫ**

Расчету сварной фермы предшествует детальное изучение ее конструкции, технологии сборки и применяемых материалов.

При описании материала элементов конструкции следует рассмотреть химический состав заданной стали и влияние легирующих элементов на ее свойства, физические и технологические свойства, а также области применения.

При описании способа сварки необходимо рассмотреть его особенности, преимущества и недостатки, а также привести конкретные марки серийно-выпускаемого отечественного оборудования, планируемого к применению.

Выбор сварочных материалов осуществляется исходя из следующих требований:

- обеспечение требуемых физических свойств и химического состава материала сварного шва (при сварке конструкционных сталей)

необходимо, учитывая принцип равной прочности, выбирать сварочные материалы, которые обеспечат механические свойства шва, равные свойствам свариваемого материала; для низкоуглеродистой и низколегированной стали для формирования сварного шва обычно выбирают сварочные материалы с более низким классом прочности стали);

– необходимо учитывать сложность и конструктивные особенности свариваемых деталей, тип сварного соединения (сложная форма или большая толщина сварного шва при охлаждении может привести к образованию трещин из-за больших внутренних напряжений, поэтому в таких случаях необходимо использовать сварочные материалы с хорошей трещиностойкостью, с низким содержанием водорода; если свариваемые детали трудно очистить или обезжирить, чтобы избежать появления пористости шва, следует выбирать сварочные материалы не чувствительные к такого рода загрязнениям);

– необходимо учитывать условия сварочного труда, рабочую среду (в зависимости от условий на строительной площадке, например, при полевых работах, если нет возможности использования сварочного аппарата постоянного тока, следует использовать сварочный материал, подходящий для сварки на переменном токе, и наоборот);

– необходимо учитывать экономику сварки (применение экономичных сварочных материалов при условии их гарантированной эффективности; для корневого и заполняющих сварных швов могут использоваться различные сварочные материалы с разными требованиями к производительности).

Существует большое количество защитных газов, которые можно разделить на две группы – инертные и активные. Также широко применяются их смеси. В таблице 2 приведены рекомендации по выбору защитных газов при сварке сталей.

## **2. Применяемость защитных газов и газовых смесей для сварки сталей**

Свариваемый металл	Защитный газ, используемый при сварке	Особенности процесса сварки
Углеродистая сталь	75% Ar + 25% CO <sub>2</sub>	Большая скорость сварочного процесса без прожогов металла толщиной до 3 мм, минимум деформации и брызгообразования
	CO <sub>2</sub>	Глубокое проплавление, большая скорость сварки

Продолжение табл. 2

Свариваемый металл	Защитный газ, используемый при сварке	Особенности процесса сварки
Углеродистая сталь	Ar + 1...5% O <sub>2</sub>	Улучшенная стабильность дуги, отличное слияние контура валика сварного шва, более жидкая управляемая сварочная ванна, минимум прожогов, скорость сварки больше в сравнении со сваркой чистым аргоном
	Ar + 3...10% O <sub>2</sub>	Красивый сварной шов, сварка только с позиционированием электрода, минимальное брызгообразование
Нержавеющая сталь	90% He + 7,5% Ar + 2,5% CO <sub>2</sub>	Отсутствие окисления свариваемого металла и прожога, небольшая околшовная зона
Низколегированная сталь	60...70% He + 25...35% Ar + 4,5% CO <sub>2</sub>	Высокая ударная вязкость, минимальная реакционная способность
	75% Ar + 25% CO <sub>2</sub>	Достаточная прочность, небольшое набрызгивание по контуру сварного соединения, высокая устойчивость дуги
Нержавеющая сталь	Ar + 1% O <sub>2</sub>	Улучшенная стабильность дуги, хорошее слияние контура валика сварного шва, более жидкая управляемая сварочная ванна, минимальные прожоги при сварке тяжелых нержавеющей сталей
	Ar + 2% O <sub>2</sub>	Устойчивая дуга, скорость сварки больше, чем при содержании 1% кислорода, используется для сваривания тонких нержавеющей сталей
Низколегированные стали	Ar + 2% O <sub>2</sub>	Незначительный риск прожога, прочность сварного шва
Стали duplex	N	Востребован для защиты корня шва. Уменьшает образование оксидных пленок в корне шва

### 3.1. ОПИСАНИЕ ВЫБРАННОГО МЕТОДА РАСЧЕТА

Для расчета стальных конструкций используются два метода:

- 1) расчет по предельному состоянию (применяется при проектировании сооружений промышленного и гражданского назначения);
- 2) расчет по допускаемым напряжениям (применяется для расчета прочности машиностроительных конструкций).

В курсовой работе осуществляется расчет фермы, которая относится к сооружениям промышленного и гражданского назначения. Расчет ведется по первому методу, в котором применяют два расчетных предельных состояния:

- первое предельное состояние, определяемое несущей способностью конструкции (прочностью, устойчивостью или выносливостью);
- второе предельное состояние ограничено наибольшей деформацией конструкции (прогибами при статических нагрузках и колебаниями при динамических).

Таким образом, в данном пункте курсовой работы необходимо подробно описать метод расчета по предельному состоянию.

### 3.2. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ НЕИЗМЕНЯЕМОСТЬ ФЕРМЫ

Основным условием работоспособности фермы является ее геометрическая неизменяемость. Геометрически неизменяемыми являются системы, которые могут менять свою конфигурацию только за счет деформаций элементов.

В жестких плоских фермах, образованных из треугольников, стержни работают только на растяжение или на сжатие. В таких фермах число стержней  $C$  и число узлов  $n$  связаны соотношением

$$C = 2n - 3. \quad (1)$$

Таким образом, проверка конструкции фермы на геометрическую неизменяемость сводится к проверке выполнения условия (1).

### 3.3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СВАРНОЙ ФЕРМЫ

Геометрический расчет фермы осуществляется в целях определения длины стержней и углов между ними.

При проведении геометрического расчета применяются следующие теоремы:

- теорема Пифагора

$$c = \sqrt{a^2 + b^2},$$

где  $c$  – гипотенуза;  $a, b$  – катеты прямоугольного треугольника;

– теорема синусов

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma},$$

где  $a, b, c$  – стороны произвольного треугольника;  $\alpha, \beta, \gamma$  – углы, противолежащие сторонам  $a, b, c$  соответственно;

– теорема косинусов

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha},$$

где  $a, b, c$  – стороны произвольного треугольника;  $\alpha$  – угол между сторонами  $a$  и  $b$  (противолежащий стороне  $c$ ).

При выполнении геометрического расчета фермы, необходимо:

– на схеме фермы выделить треугольники, из которых планируется находить неизвестные величины;

– построить отдельно каждый треугольник, и с помощью указанных выше уравнений произвести расчет длин его сторон и углов между ними.

### 3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В УЗЛАХ ФЕРМЫ

Ферма опирается краями на железобетонные опоры. Так как на конструкцию действуют внешние нагрузки, в местах опирания возникают реакции опор.

Для расчета реакций опор необходимо рассмотреть условие равновесия для плоской системы сил. Плоская система сил, действующих на твердое тело, находится в равновесии, если суммы проекций этих сил на каждую из двух прямоугольных осей координат, расположенных в плоскости действия сил, равны нулю, и сумма моментов этих сил относительно опорной точки также равна нулю.

Запишем условия равновесия для плоской системы сил применительно к опорам  $A$  и  $B$  (рис. 6), приравняв суммы вращательных моментов  $M_{A_i}$  и  $M_{B_i}$  в этих точках, а также равнодействующую всех сил, приложенных к ферме  $F_j$ , к нулю:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n M_{A_i} = 0; \\ \sum_{i=1}^n M_{B_i} = 0; \\ \sum_{j=1}^m F_j = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где  $n$  – число внешних сил, приложенных к ферме;  $m$  – число сил, действующих на ферму с учетом реакций опор  $R_A$  и  $R_B$ .

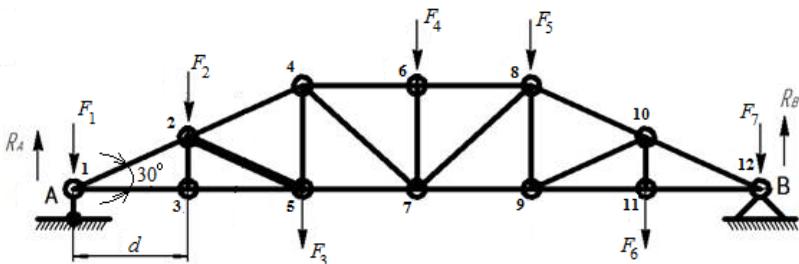


Рис. 6. К определению реакций опор

Подставим в систему уравнений (2) значения действующих сил и моментов:

$$\begin{cases} F_2 d + F_3 \cdot 2d + F_4 \cdot 3d + F_5 \cdot 4d + F_6 \cdot 5d + F_7 \cdot 6d - R_B \cdot 6d = 0; \\ R_A \cdot 6d - F_6 d - F_5 \cdot 2d - F_4 \cdot 3d - F_3 \cdot 4d - F_2 \cdot 5d - F_1 \cdot 6d = 0; \\ R_A + R_B - F_1 - F_2 - F_3 - F_4 - F_5 - F_6 - F_7 = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Из первого и второго уравнений системы (3) находим значения реакций опор  $R_B$  и  $R_A$  соответственно. Третье уравнение системы (3) является проверочным, т.е. должно выполняться условие равенства нулю.

После определения значений опорных реакций приступаем к определению усилий в стержнях фермы. Усилия в стержнях необходимо знать для того, чтобы подобрать сечение стержней.

Усилие в стержнях находим *методом вырезания узлов*, который состоит в том, что поочередно рассматривается каждый отдельный узел фермы с приложенными к нему заданными силами и реакциями разрезанных стержней или опор (если узел находится на опоре).

Рассмотрим метод вырезания узлов на примере левой части фермы, изображенной на рис. 6. Обозначим узлы арабскими цифрами, а стержни – римскими (рис. 7, а).

На схеме (рис. 7, а) буквой  $S$  с индексом, соответствующим номеру стержня, обозначим усилия в стержнях направленные от каждого узла.

Рассмотрим узлы 1, 2 и 3 каждый по отдельности. Системы сил, действующих на каждый узел, изобразим на отдельных схемах (рис. 7, б – г).

Для узла 1 запишем уравнения равновесия сил по осям  $X$  и  $Y$ :

$$\begin{cases} S_{II} + S_I \cos 30^\circ = 0; \\ R_A + S_I \sin 30^\circ - F_1 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

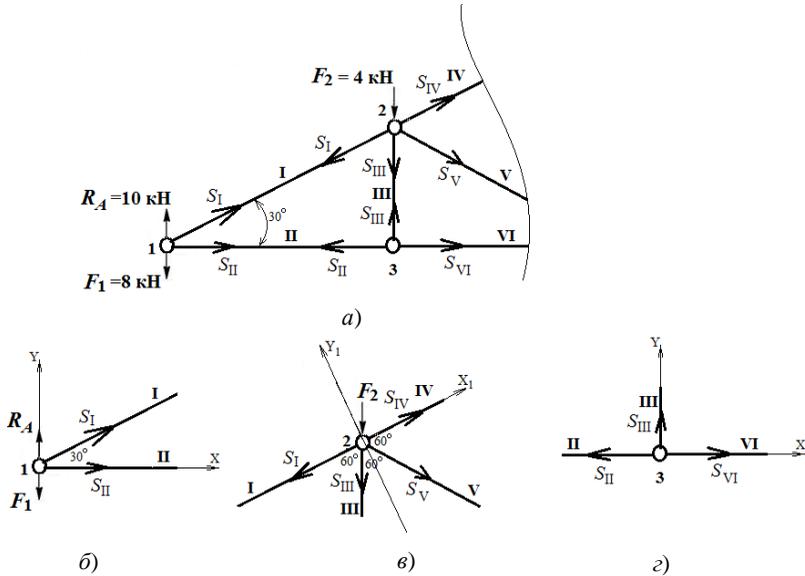


Рис. 7. К определению усилий в стержнях методом вырезания узлов

При известных нагрузках, действующих на ферму, и реакциях опор (в случае рис. 7:  $R_A = 10$  кН;  $F_1 = 8$  кН;  $F_2 = 4$  кН) находим из второго уравнения системы (4)  $S_I = -4$  кН. Из первого уравнения системы (4) найдем

$$S_{II} = -S_I \cos 30^\circ = -(-4) \cdot 0,866 = 3,464 \text{ кН.}$$

Для узла 3 уравнения равновесия сил по осям  $X$  и  $Y$ :

$$\begin{cases} S_{VI} - S_{II} = 0, \\ S_{III} = 0, \end{cases}$$

откуда найдем  $S_{VI} = S_{II} = 3,464$  кН.

На схеме рис. 7, в, остались две неизвестные силы  $S_{IV}$  и  $S_V$ . Если установить систему координат, в которой ось  $X_1$  будет совпадать с направлением действия силы  $S_{IV}$ , то из баланса сил вдоль оси  $Y_1$  можно определить величину  $S_V$ :

$$-F_2 \cos 30^\circ - S_{III} \cos 30^\circ - S_V \cos 30^\circ = 0,$$

откуда  $S_V = -3$  кН.

Силу  $S_{IV}$  найдем из уравнения баланса сил по оси  $X_1$ :

$$S_{IV} - S_I - S_{III} \cos 60^\circ - F_2 \sin 30^\circ + S_V \cos 60^\circ = 0,$$

откуда  $S_{IV} = -1$  кН.

### 3. Значения усилий в стержнях

Обозначение усилия	Рассчитанное усилие, кН	Расчетное усилие $S_{расч}$ , кН	Работа усилия
$S_I$	-4	-4,400	Сжатие
$S_{II}$	3,464	3,810	Растяжение
$S_{III}$	0	0	Не нагружен (нулевой стержень)
$S_{IV}$	-1	-1,100	Сжатие
$S_V$	-3	-3,300	Сжатие
$S_{VI}$	3,464	3,810	Растяжение
...	...		...

После рассмотрения всех узлов фермы и определения усилий во всех стержнях строим таблицу значений усилий (см. табл. 3).

Расчетное усилие определяется умножением нормативного усилия на коэффициент перегрузки, который принимаем равным 1,1.

Для определения работы усилия следует иметь в виду, что при вырезании узлов реакции стержней направлялись от узлов, т.е. условно принималось, что все стержни растянуты. Следовательно, если в результате вычислений получено усилие со знаком плюс, то стержень растянут, если со знаком минус, то стержень сжат.

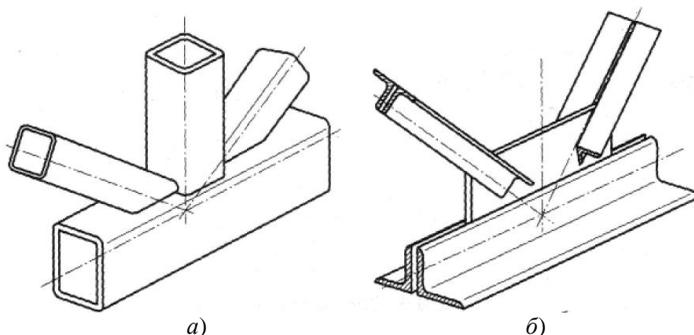
#### 3.5. ВЫБОР ДЛИНЫ И ПЛОЩАДИ СЕЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СВАРНОЙ ФЕРМЫ

При выборе поперечных сечений стержней необходимо учитывать, что они должны обладать достаточной прочностью и жесткостью.

Сварное соединение стержней в узлах фермы может быть выполнено либо путем непосредственного их примыкания друг к другу (рис. 8, а), либо с помощью фасонки (рис. 8, б).

В курсовой работе следует принять, что выполнение узлов фермы осуществляется с помощью фасонки (фасонка – деталь в виде пластины из листового металла, служащая для крепления металлических конструкций, например, в узле стержней решетки и пояса фермы).

К подбору сечений приступают после определения расчетных усилий в стержнях ферм (см. табл. 3) и решения вопроса о типе сечений.



**Рис. 8. Узел сварной фермы:**

*a* – с непосредственным примыканием стержней; *б* – на фанонках

Размеры поперечных сечений стержней определяются в зависимости от условий прочности, которые различаются для растянутых и сжатых стержней.

Для подбора сечений сжатых элементов поясов необходимо знать их расчетную (приведенную) длину. Такие элементы фермы могут выпучиться (потерять устойчивость) как в плоскости, так и из плоскости фермы.

Расчетные длины элементов фермы определяем из следующих условий:

- длины поясов, опорных стоек и опорных раскосов равны геометрической длине этих элементов;
- длины прочих элементов решетки составляют 80% от их геометрической длины.

Результаты определения расчетных длин элементов фермы заносим в табл. 4.

Пояса стропильных ферм обычно проектируются из неравнополочных уголков, соединенных меньшими полками вместе. Это уменьшает гибкость фермы из ее плоскости, улучшает условия монтажа.

Подбор сечения сжатых стержней начинается с определения требуемой площади:

$$S_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{расч}}}{m\varphi R_y},$$

где  $S_{\text{расч}}$  – расчетное усилие в стержне;  $m$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным единице ( $m = 1$ );  $\varphi$  – коэффициент продольного изгиба ( $\varphi = 0,5 \dots 0,7$ );  $R_y$  – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести (табл. 5).

#### 4. Расчетные длины стержней

№ стержня	Геометрическая длина, м	Расчетная длина, м
I	$l_I$	$l_I$
II	$l_{II}$	$l_{II}$
III	$l_{III}$	$0,8 l_{III}$
IV	$l_{IV}$	$l_{IV}$
V	$l_V$	$l_V$
VI	$l_{VI}$	$l_{VI}$
...	...	...

Примечание.  $l_I - l_{VI}$  – числовые значения геометрических длин стержней.

#### 5. Физико-механические свойства сталей

Марка стали	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Предел прочности при растяжении $\sigma_B$ , МПа	$R_u$ , МПа	$R_y$ , МПа
Ст2кп	215	380	368	210
Ст3кп	230	430	417	225
09Г2С	270	470	456	265
10	216	330	320	212
20	245	410	398	240
10ХСНД	390	560	543	382
17ГС	343	500	485	336

Требуемую площадь сечения растянутого стержня определяют по формуле

$$S_{тр} = \frac{S_{расч}}{R_u},$$

где  $R_u$  – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению.

Применительно к данным табл. 3, в случае выполнения стержней из стали Ст3, получим:

$$- S_{\text{тр}}^{\text{I}} = \frac{|S_{\text{расч}}^{\text{I}}|}{m\varphi R_y} = \frac{4,4 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,6 \cdot 225 \cdot 10^6} = 32,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 0,326 \text{ см}^2;$$

$$- S_{\text{тр}}^{\text{II}} = \frac{|S_{\text{расч}}^{\text{II}}|}{m\varphi R_u} = \frac{3,81 \cdot 10^3}{417 \cdot 10^6} = 9,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 0,091 \text{ см}^2;$$

–  $S_{\text{тр}}^{\text{III}} = 0,091 \text{ см}^2$  (сечение нулевого стержня выбираем по результатам расчета сечений растянутых стержней. Оно должно соответствовать наименьшему значению);

$$- S_{\text{тр}}^{\text{IV}} = \frac{|S_{\text{расч}}^{\text{IV}}|}{m\varphi R_y} = \frac{1,1 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,6 \cdot 225 \cdot 10^6} = 8,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 0,081 \text{ см}^2;$$

$$- S_{\text{тр}}^{\text{V}} = \frac{|S_{\text{расч}}^{\text{V}}|}{m\varphi R_y} = \frac{3,3 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,6 \cdot 225 \cdot 10^6} = 24,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 0,244 \text{ см}^2;$$

$$- S_{\text{тр}}^{\text{VI}} = \frac{|S_{\text{расч}}^{\text{VI}}|}{m\varphi R_u} = \frac{3,81 \cdot 10^3}{417 \cdot 10^6} = 9,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 0,091 \text{ см}^2.$$

Затем выбирается неравнополочный уголок согласно стандартам на сортамент, имеющий ближайшее большее сечение, и проводится проверка его гибкости с использованием формул

$$\lambda_x = \frac{l_{\text{расч}}}{i_x} < [\lambda], \quad \lambda_y = \frac{l_{\text{расч}}}{i_y} < [\lambda],$$

где  $\lambda_x$  и  $\lambda_y$  – гибкость стержня по соответствующим осям;  $l_{\text{расч}}$  – расчетная длина стержня, см;  $i_x, i_y$  – радиусы инерции для осей из ГОСТ на сортамент;  $[\lambda]$  – допускаемая гибкость (для растянутых стержней  $[\lambda] = 400$ , для сжатых  $[\lambda] = 150$ ).

Если стержень не удовлетворяет условиям, то необходимо выбрать заготовку большего диаметра.

Нулевой стержень рассчитывается как условно растянутый.

Из условия обеспечения необходимой жесткости при монтаже и перевозке в сварных фермах применяют уголки с наименьшими размерами сечения:

- для равнобоких 50×5 мм;
- для неравнобоких 63×40×4.

Выбранный прокат обозначаем по ГОСТ 535–2005.

Например:

*Прокат горячекатаный угловой неравнополочный высокой точности прокатки (А), размером 63×40×4 мм по ГОСТ 8510–86, из стали марки Ст3кп.*

$$\text{Уголок } \frac{А-63\times40\times4 \text{ ГОСТ } 8510-86}{\text{Ст3кп}-\text{ГОСТ } 535-2005}.$$

По окончании расчета поперечных сечений стержней фермы необходимо составить таблицу вида «номер стержня – выбранный тип уголка из сортамента» (табл. 6).

Далее необходимо произвести компоновку типоразмеров уголков так, чтобы в конечном итоге оказалось не более 4–5 уголков (табл. 7). Данный этап предназначен для того, чтобы уменьшить необходимое количество типоразмеров, унифицировать и упростить конструкцию.

## 6. Соответствие стержней и выбранных уголков

Номер стержня	Уголок
I	50×32×4
II	56×36×4
III	50×32×4
IV	63×40×4
V	70×45×5
VI	45×28×4
VII	45×28×4

## 7. Компоновка типоразмеров уголков

Номер стержня	Уголок
I, II, III, IV, VI, VII,	63×40×4
V	70×45×5

### 3.6. КОНСТРУИРОВАНИЕ ФАСОНОК

При конструировании фасонки необходимо учитывать следующее:

- размеры фасонки определяются по необходимой длине швов крепления элементов;
- очертание фасонки должно быть простым;
- чтобы снизить сварочные напряжения в фасонках, стержни не доводят до поясов на расстояние  $a = bt - 20$ , [мм], но не более 80 мм (здесь  $t$  – толщина фасонки в мм);
- концы фланговых швов, соединяющих стержень с фасонкой, для снижения концентрации напряжений выводят на торцы стержня на 20 мм;
- фермы пролетом 18...36 м разбивают на две части с укрупнительными стыками в средних узлах (правая и левая полуфермы должны быть взаимозаменяемы);
- толщину фасонки определяют в зависимости от значения наибольшего усилия в стержнях решетки, причем она обычно принимается одинаковой для всей фермы. Рекомендуемые толщины фасонки приведены в табл. 8.

На рисунке 9 показаны варианты фасоночного соединения стержней фермы с указанием размеров, которые должны быть соблюдены при конструировании фасонки и сборке фермы.

При выполнении данного пункта курсовой работы, с учетом указанных выше требований, необходимо разработать конструкции всех фасонки и выполнить их чертежи согласно требованиям ЕСКД.

#### 8. Толщины фасонки в зависимости от расчетных усилий

Наибольшее расчетное усилие в стержнях, кН	До 150	Свыше 150 до 250	Свыше 250 до 400	Свыше 400 до 600	Свыше 600 до 1000	Свыше 1000 до 1400	Свыше 1400 до 1800	Свыше 1800
Толщина фасонки, мм	6	8	10	12	14	16	18	20

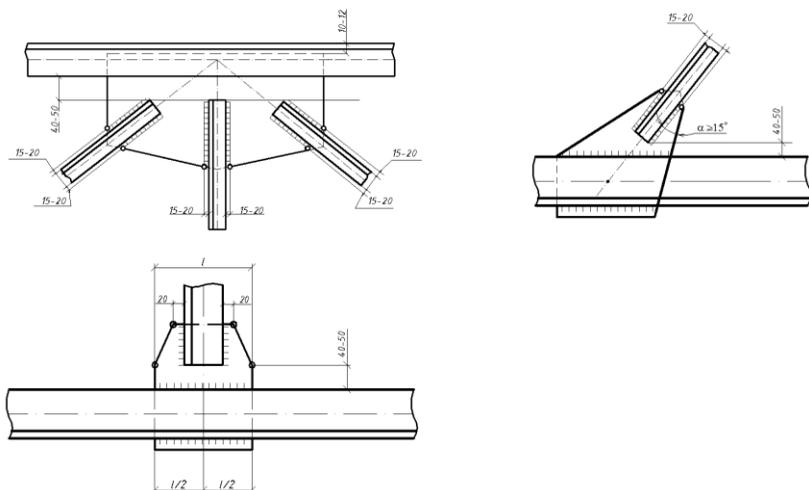


Рис. 9. Фасоночное соединение стержней фермы

### 3.7. РАСЧЕТ СВАРНЫХ ШВОВ

Для присоединения стержней применяем полуавтоматическую сварку в среде углекислого газа по ГОСТ 14771–76.

При фасоночном соединении стержней в виде двух уголков выполняется два вида швов – по перу уголка и по его обушке (рис. 10).

При расчете угловых сварных швов (рис. 10) учитывают, что усилие, действующее на уголок, прикладывается к его центру тяжести и при приварке уголка к фасонке распределяется между швами,



Рис. 10. Крепление уголка к фасонке угловыми сварными швами

выполненными по обушке и по перу уголка. Распределение усилия происходит пропорционально площадям, отсеченным у уголка на разрезе линией центра тяжести. В равнополочных уголках на швы по обушке приходится 70% усилия, на швы по перу – 30%, т.е.

$$N_o = 0,7 S_{\text{расч}};$$

$$N_n = 0,3 S_{\text{расч}}.$$

Общая длина шва определяется по формуле

$$l_w = \frac{N_{o(n)}}{nk_f \beta_f \gamma_{wf} \gamma_c R_{wf}} + a,$$

где  $N_{o(n)}$  – усилие, действующее на обушок (перо) уголков;  $n$  – количество швов ( $n = 2$ , так как стержень состоит из двух уголков);  $a = 10$  мм – длина шва на непровар (выбирается из диапазона 10...20 мм);  $k_f$  – катет сварного шва;  $\beta_f$  – коэффициент, принимаемый по СНиП II-23–81 (см. табл. 9);  $\gamma_{wf}$  – коэффициент условий работы шва, равный 1 во всех случаях, кроме конструкций, возводимых в климатических районах II, I2, II2, III3, для которых  $\gamma_{wf} = 0,85$ ;  $\gamma_c = 1$  – коэффициент условий работы;  $R_{wf}$  – расчетное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу шва согласно СНиП II-23–81 (см. табл. 10).

### 9. Значения коэффициента $\beta_f$

Вид сварки при диаметре сварочной проволоки $d$ , мм	Положение шва	Коэффициент $\beta_f$ при катетах швов, мм			
		3...8	9...12	14...16	18 и более
Автоматическая при $d = 3...5$	В лодочку	1,1			0,7
	Нижнее	1,1	0,9		0,7
Автоматическая и полуавтоматическая при $d = 1,4...2,0$	В лодочку	0,9		0,8	0,7
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	0,9	0,8	0,7	
Ручная, полуавтоматическая проволокой сплошного сечения при $d < 1,4$	В лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное	0,7			

## 10. Нормативные и расчетные сопротивления металла швов соединений с угловыми швами

Марка проволоки	$R_{wнн}$ , МПа	$R_{wf}$ , МПа
СВ-08, СВ-08А	410	180
СВ-08ГА	450	200
СВ-10ГА, СВ-08Г2С, СВ-08Г2СЦ, ПП-АН8, ПП-АН3	490	215
СВ-10НМА, СВ10Г2	590	240
СВ-10ХГ2СМА, СВ-08ХН2ГМЮ	685	280

Примечание.  $R_{wнн}$  – нормативное сопротивление металла шва по временному сопротивлению;  $R_{wf}$  – расчетное сопротивление угловых швов срезу (условному) по металлу шва.

Высота катета шва  $k_f$  по перу уголка обычно принимается меньше на 2 мм толщины уголка  $t$ , по обушку уголка высота катета назначается не более  $1,2 t$ :

- по перу  $k_{fп} = t - 10$ , мм (при  $t \leq 6$  мм);  
 $k_{fп} = t - 20$ , мм (при  $7 \leq t \leq 16$  мм);
- по обушку  $k_{fо} = 1,2 t$ , мм.

Таким образом, в результате расчета сварных швов получаем значения, которые сводим в табл. 11.

## 11. Таблица расчета швов

Номер стержня	Сечение уголка, мм	$ S_{расч} $ , кН	Шов по обушку			Шов по перу		
			$N_o$ , кН	$k_{fо}$ , мм	$l_w$ , см	$N_{п}$ , кН	$k_{fп}$ , мм	$l_w$ , см
II	56×36×4	756,00	529,20	6	15	226,80	3	10
...								

Примечание:

– стержень состоит из двух неравнополочных уголков, соединенных меньшими полками вместе;

– нулевой стержень рассчитывается по минимальной нагрузке  $|S_{расч}|$ .

#### 4. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ПРИНЯТЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

При проектировании сварных конструкций следует стремиться к тому, чтобы получить изделия высокого качества с минимальными затратами.

При конструировании сварных конструкций необходимо стремиться к минимальному расходу металла. Излишек металла повышает стоимость изготовления, а в подвижном составе (транспортные конструкции) удорожает его эксплуатацию.

При выборе способов сварки следует предусматривать высокопроизводительные автоматизированные и механизированные технологические процессы.

Новые конструкции необходимо разрабатывать с учетом существующего опыта проектирования и изготовления подобных конструкций; применять методы стандартизации форм конструкций, что уменьшает трудоемкость и стоимость изготовления.

При проектировании сварных конструкций необходимо учитывать требования технологов и монтажников в части применения рациональных способов монтажа.

При проектировании сварных конструкций следует стремиться к сокращению количества сварных швов в изделиях.

Стоимость изготовления сварных конструкций уменьшается при применении высокопроизводительных методов сварки (автоматической под слоем флюса, контактной стыковой, точечной и т.д.).

Высокая производительность сварочного процесса, хорошее качество сварных соединений и экономичное использование металла способствуют тому, что сварочная техника стала ведущим технологическим процессом при изготовлении металлических конструкций всех видов.

Технологичность – это комплекс свойств и мероприятий, направленных на изготовление сварной конструкции с учетом наименьших затрат средств и времени, при этом должны учитываться все эксплуатационные требования, предъявляемые к заданной конструкции: прочность, выносливость, долговечность работы.

При проектировании и изготовлении сварных конструкций технологичность обеспечивается следующими мероприятиями:

- выбор оборудования, позволяющего ускорить процесс сборки и сварки конструкции, выполнить швы быстро и качественно;
- выбор марки стали для сварной конструкции, которая сваривается без ограничений и не требует дополнительной термической обработки;

- выбор сортового проката, позволяющего не применять дополнительную механическую обработку, что приведет к ускорению процесса сборки и сварки конструкции;

- выбор присадочной проволоки, подходящей по химическому составу к основному металлу, что позволит получить качественные прочные сварные швы;

- разработка технологии сборки конструкции, позволяющей демонтировать ее по какому-либо не несущему узлу и осуществлять сборку по месту монтажа;

- обеспечение выполнения всех или большинства сварных швов в нижнем положении;

- обеспечение доступности конструкции для выполнения мероприятий защиты от коррозии (покраски и т.п.) и ремонта.

При выполнении данного пункта курсовой работы необходимо провести детальный анализ полученных результатов с точки зрения возможности реализации перечисленных выше мероприятий.

## **5. ЧЕРТЕЖИ ДЕТАЛЕЙ (ФАСОНОК) И ИХ ОФОРМЛЕНИЕ**

Чертежи фасонки оформляются в соответствии с требованиями ЕСКД и Основными нормами взаимозаменяемости.

На рисунке 11 показана структура основной надписи и дополнительных граф для чертежей и схем согласно ГОСТ 2.104–2006 «Единая система конструкторской документации. Основные надписи».

Графы основной надписи и дополнительные графы пронумерованы номерами в круглых скобках:

- в графе 1 указывают наименование изделия и наименование документа, если этому документу присвоен код. 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: «Колесо зубчатое»;

- в графе 2 указывают обозначение документа и код, если его код определен ГОСТ 2.102, ГОСТ 2.601, ГОСТ 2.602, ГОСТ 2.701;

- в графе 3 – обозначение материала детали (графу заполняют только на чертежах деталей);

- в графе 4 указывают литеру, присвоенную данному документу (на документе в бумажной форме графу заполняют последовательно, начиная с крайней левой клетки). Допускается в рабочей конструкторской документации литеру проставлять только в спецификациях и технических условиях;

- в графе 5 указывают массу изделия по ГОСТ 2.109;
- в графе 6 указывают масштаб (проставляется в соответствии с ГОСТ 2.302 и ГОСТ 2.109);
- в графе 7 указывают порядковый номер листа (на документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют);
- в графе 8 указывают общее количество листов документа (указывают только на первом листе);
- в графе 9 указывают наименование или код организации, выпускающей документ (графу не заполняют, если код содержится в обозначении документа);
- в графе 10 указывают характер работы, выполняемой лицом, подписывающим документ. Свободную строку заполняют по усмотрению разработчика, например: «Начальник отдела», «Начальник лаборатории», «Рассчитал»;
- в графе 11 указывают фамилии лиц, подписавших документ;
- в графе 12 указывают подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 11;
- в графе 13 указывают дату подписания документа;
- в графах 14 – 18 указывают сведения об изменениях, которые заполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.503;
- в графе 19 указывают инвентарный номер подлинника по ГОСТ 2.501;
- в графе 20 указывают сведения о приемке подлинника в службу технической документации (подпись и дата приемки);
- в графе 21 указывают инвентарный номер подлинника, взамен которого выпущен данный подлинник по ГОСТ 2.503;
- в графе 22 указывают инвентарный номер дубликата по ГОСТ 2.502;
- в графе 23 указывают сведения о приемке дубликата в службу технической документации (подпись и дата приемки);
- в графе 24 указывают обозначение документа, взамен или на основании которого выпущен данный документ;
- в графе 25 указывают обозначение соответствующего документа, в котором впервые записан данный документ. Обязательный реквизит для всех документов, заимствованных из документации других изделий;
- в графе 26 указывают обозначение документа, повернутое на 180° для формата А4 и для форматов больше А4 при расположении основной надписи вдоль длинной стороны листа и на 90° – для форматов больше А4 при расположении основной надписи вдоль короткой стороны листа;

- в графе 27 указывают знак, установленный заказчиком в соответствии с требованиями нормативной документации и проставляемый заказчиком или представителем заказчика;
  - в графах 28 и 29 указывают номер решения и год утверждения документации. Год утверждения указывают четырьмя цифрами;
  - в графе 30 указывают индекс заказчика в соответствии с нормативной документацией;
  - в графе 31 указывают подпись лица, копировавшего документ.
- При копировании электронного документа обязательный реквизит;
- в графе 32 указывают обозначение формата листа по ГОСТ 2.301. Для электронного документа указывают формат листа, на котором будет соответствовать указанный в графе 6 масштаб;
  - в графе 33 указывают обозначение зоны, в которой находится изменяемая часть изделия;
  - в графе 34 указывают номера авторских свидетельств на изобретения, использованные в данном изделии;
  - в графе 35 указывают номер версии документа в электронной форме, с которого на устройствах вывода ЭВМ получен документ в бумажной форме. Графу заполняют только для документов, изготавливаемых с применением ЭВМ;
  - в графе 36 указывают единицу измерения (метрическая или дюймовая);
  - в графе 37 указывают метод проецирования. Способ расположения проекций детали на чертеже. Обязательный, если проецирование не соответствует ГОСТ 2.305;
  - в графе 38 указывают имя файла, содержащего документ в электронной форме. Графу заполняют только для документов, изготавливаемых с помощью ЭВМ;
  - в графе 39 указывают признак аутентичного документа (обязательный для аутентичных документов);
  - в графе 40 указывают код документа в зависимости от характера использования. Для электронных документов в соответствии с ГОСТ 2.102 применяют следующие коды: 1 – оригинал, 2 – подлинник, 3 – дубликат, 4 – копия;
  - в графе 41 указывают обозначение документа аналогичного изделия, для которого ранее изготовлены средства технологического оснащения, необходимые для данного изделия. Для документов, выполняемых только на бумажном носителе, допускается использовать графу 24.

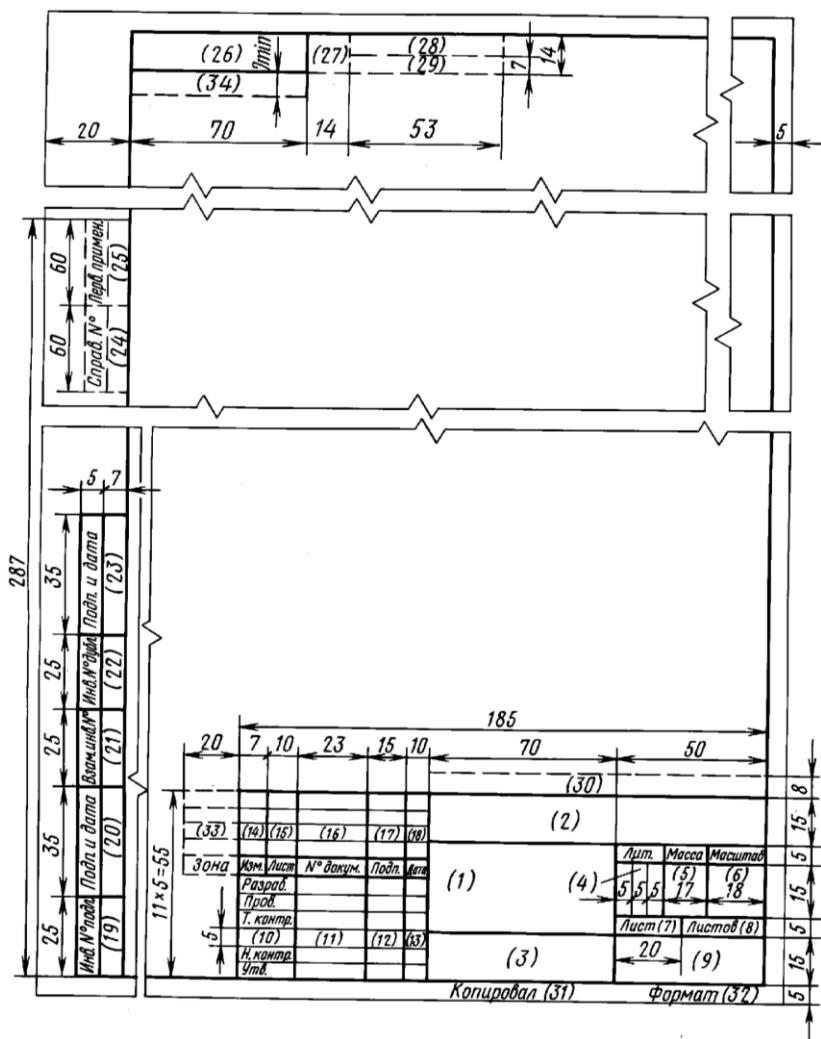


Рис. 11. Основная надпись и дополнительные графы для чертежей и схем

## 6. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Принципы расчета и проектирования балок (определение высоты балки).
2. Принципы расчета и проектирования балок (подбор поперечного сечения балки и проверка прочности сечения).
3. Принципы расчета и проектирования стоек (расчет стоек при центральной сжатии).
4. Распределение напряжений при многослойной сварке.
5. Распределение напряжений при электрошлаковой сварке.
6. Распределение напряжений в соединениях с круговыми швами.
7. Распределение напряжений в соединениях с кольцевыми швами.
8. Распределение напряжений в лобовых швах тавровых (нахлесточных) соединений.
9. Распределение напряжений во фланговых швах нахлесточных соединений.
10. Распределение напряжений в точечных соединениях (контактная сварка).
11. Расчет соединений по нормативным сопротивлениям.
12. Расчет соединений по допускаемым напряжениям.
13. Расчет прочности нахлесточных соединений при статических нагрузках.
14. Расчет прочности тавровых соединений при статических нагрузках.
15. Расчет прочности точечных соединений (контактная сварка) при статических нагрузках.
16. Расчет прочности соединений, работающих на изгиб и сложное сопротивление.
17. Угловые деформации при сварке.
18. Потеря устойчивости тонколистовых элементов сварной конструкции.
19. Деформации и перемещения в оболочках (тонкостенные оболочки, продольные швы).
20. Деформации и перемещения в оболочках (тонкостенные оболочки, круговые и кольцевые швы).
21. Усталостная прочность. Основные понятия и определения.
22. Меры, повышающие сопротивляемость сварных соединений усталостным разрушениям.

## 7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Горев, В. В.** Металлические конструкции / В. В. Горев. – М. : Высшая школа, 2004. – 551 с.

2. **Белоконь, В. М.** Производство сварных конструкций / В. М. Белоконь. – М. : Высшая школа, 1998. – 357 с.

3. **ГОСТ 535–2005.** Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия. – Введ. 20-06-2007. – М. : Стандартиформ, 2007. – 27 с.

4. **Пособие** по расчету и конструированию сварных соединений стальных конструкций (к главе СНиП II-23–81) / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М. : Стройиздат, 1984. – 40 с.

Учебное электронное издание

# РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Методические указания

Составители:

МОРДАСОВ Михаил Денисович

МОРДАСОВ Денис Михайлович

Редактор Л. В. Комбарова

Графический и мультимедийный дизайнер Н. И. Кужильная

Обложка, упаковка, тиражирование Л. В. Комбарово й

Подписано к использованию 03.10.2024.

Тираж 50 шт. Заказ № 102

Издательский центр ФГБОУ ВО «ГТТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.

Тел./факс (4752) 63-81-08.

E-mail: izdatelstvo@tstu.ru