

Частное образовательное учреждение  
профессионального образования  
«Западно-Уральский горный техникум»

## **МДК.02.01. Основы расчета и проектирования сварных конструкций**

(ПМ.02 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ)

*Методические указания для самостоятельной работы студентов  
заочной формы обучения специальности*

*15.02.19 Сварочное производство  
(базовая подготовка)*

Пермь, 2025

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности **15.02.19 Сварочное производство (базовая подготовка)** и рабочей программой профессионального модуля.

Методические указания рассмотрены и утверждены методическим советом ЧОУ ПО «ЗУГТ»  
Протокол № 1 от 24 января 2025 г.

Методические указания содержат теоретический материал по дисциплине, содержание практических занятий, задания для самостоятельной работы студентов.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Методические указания и задания для контрольных работ по МДК 02.01. Основы расчета и проектирования сварных конструкций (ПМ.02 Разработка технологических процессов и проектирование изделий) предназначены для реализации ФГОС СПО по специальности 15.02.19 Сварочное производство (базовая подготовка).

С целью овладения видом профессиональной деятельности **Разработка технологических процессов и проектирование изделий** и соответствующими профессиональными компетенциями студент в ходе освоения профессионального модуля должен:

**иметь практический опыт:**

выполнения расчетов и конструирование сварных соединений и конструкций; проектирования технологических процессов производства сварных конструкций с заданными свойствами;

осуществления технико-экономического обоснования выбранного технологического процесса;

оформления конструкторской, технологической и технической документации;

разработки и оформления графических, вычислительных и проектных работ с использованием информационных и (или) компьютерных технологий;

**уметь:**

пользоваться справочной литературой для производства сварных изделий с заданными свойствами;

составлять схемы основных сварных соединений;

проектировать различные виды сварных швов;

составлять конструктивные схемы металлических конструкций различного назначения;

производить обоснованный выбор металла для различных металлоконструкций;

производить расчеты сварных соединений на различные виды нагрузки;

разрабатывать маршрутные и операционные технологические процессы;

выбирать технологическую схему обработки;

проводить технико-экономическое сравнение вариантов технологического процесса;

**знать:**

основы проектирования технологических процессов и технологической оснастки для сварки, пайки и обработки металлов;

правила разработки и оформления технического задания на проектирование технологической оснастки;

методику прочностных расчетов сварных конструкций общего назначения;

закономерности взаимосвязи эксплуатационных характеристик свариваемых материалов с их составом, состоянием, технологическими режимами, условиями эксплуатации сварных конструкций;

методы обеспечения экономичности и безопасности процессов сварки и обработки материалов;

классификацию сварных конструкций;  
типы и виды сварных соединений и сварных швов;  
классификацию нагрузок на сварные соединения;  
состав ЕСТД;

методику расчета и проектирования единичных и унифицированных технологических процессов;

основы автоматизированного проектирования технологических процессов обработки деталей.

Целью изучения МДК 02.01. Основы расчета и проектирования сварных конструкций является усвоение обучающимися теоретических знаний и практических умений, а также формирование **общих компетенций (ОК) (частично):**

ОК1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

### **профессиональных компетенций (ПК):**

ПК 2.1. Выполнять проектирование технологических процессов производства сварных соединений с заданными свойствами.

ПК 2.2. Выполнять расчеты и конструирование сварных соединений и конструкций.

ПК 2.3. Осуществлять технико-экономическое обоснование выбранного технологического процесса.

ПК 2.4. Оформлять конструкторскую, технологическую и техническую документацию.

ПК 2.5. Осуществлять разработку и оформление графических, вычислительных и проектных работ с использованием информационно-компьютерных технологий.

**Количество часов на освоение на освоение программы профессионального модуля:**  
всего – **660** часов, в том числе:

максимальной учебной нагрузки обучающегося – **190** часов, включая:

- обязательной аудиторной учебной нагрузки обучающегося – **48/32** часов;
- в том числе лекции – **26/10**, практические занятия – **10/10**;
- курсовое проектирование – **12** часов;
- самостоятельной работы обучающегося – **147/163** часа.

### **Производственная практика ПП.02 – 180 часов**

Форма отчетности по междисциплинарному курсу МДК 02.01. Основы расчета и проектирования сварных конструкций – **экзамен**.

Форма отчетности по профессиональному модулю ПМ.02 Разработка технологических процессов и проектирование изделий – **экзамен (квалификационный)**.

## **2. ПРОГРАММА МДК 02.01**

### **«ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ»**

Наименование разделов и тем	Количество ауд. часов при заочной /при заочной ускоренной форме обучения (час.)			Самост. работа студентов (час.)
	Всего	Лабор. работа	Практ. работа	
<b>Раздел 1. Основы расчета и проектирования сварных конструкций</b>	<b>6/1</b>		<b>4</b>	<b>35/40</b>
Тема 1.1 Типы и виды сварных соединений	2/1			
Тема 1.2. Классификация нагрузок на сварные соединения	2			
Тема 1.3 Расчетные сопротивления сварных соединений	2			
<b>Раздел 2. Проектирование сварных конструкций</b>	<b>8/3</b>		<b>3</b>	<b>35/40</b>
Тема 2.1 Принципы классификации сварных конструкций	3/1			
Тема 2.2 Определение технологичности	3/1			
Тема 2.3 Нормативные и расчетные сопротивления стали	3/1			
<b>Раздел 3. Сварные конструкции</b>	<b>12/6</b>		<b>3</b>	<b>67/63</b>
Тема 3.1 Классификация каркасов промышленных зданий	2/1			
Тема 3.2 Классификация сварных балок	2/1			
Тема 3.3 Назначение и классификация сварных колонн	2/1			

Наименование разделов и тем	Количество ауд. часов при заочной /при заочной ускоренной форме обучения (час.)			Самост. работа студентов (час.)
	Всего	Лабор. работа	Практ. работа	
Тема 3.4 Назначение и классификация сварных ферм	2/1			
Тема 3.5 Характеристика, особенности и классификация листовых конструкций	2/1			
Тема 3.6 Особенности проектирования и изготовления сварных деталей машин	2/1			
<b>Курсовое проектирование</b>	<b>12</b>			<b>10/20</b>
<b>Всего по дисциплине</b>	<b>48/32</b>		<b>10</b>	<b>147/163</b>

### 3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Раздел 1. Основы расчета и проектирования сварных конструкций

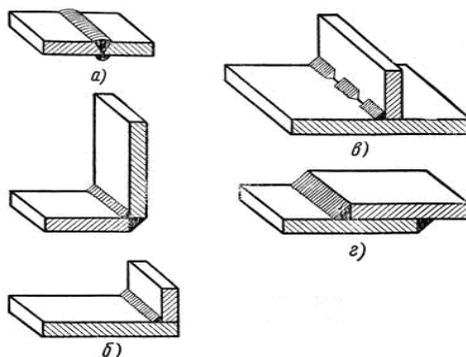
##### Тема 1.1 Типы и виды сварных соединений

Характеристика, назначение и область применения сварных соединений. Их достоинства и недостатки. ГОСТ на сварные соединения, выполненные различными способами сварки. Виды сварных швов. Требования, предъявляемые к сварным швам.

##### Методические указания

В зависимости от взаимного расположения свариваемых деталей различают следующие сварные швы:

- а) Швы стыковых соединений, обозначаемые буквой **С**, когда торец одной детали присоединяется к торцу другой (рис.1.1,а).
- б) Швы угловых соединений, обозначаемые буквой **У**, когда деталь присоединяется к другой и образует угол (рис.1.1,б).
- в) Швы тавровых соединений, обозначаемые буквой **Т**, когда деталь присоединяется к другой, образуя фигуру буквы **Т** (рис.1.1,в).
- г) Швы соединений внахлестку, обозначаемые буквой **Н**, когда кромки свариваемых деталей накладывают одну на другую (рис.1.1 ,г).



**Рис. 1.1 - Виды сварных соединений**

Термины и определения основных понятий по сварке металлов устанавливает ГОСТ 2601-84. Сварные соединения подразделяются на несколько типов, определяемых взаимным расположением свариваемых деталей. Основными из них являются стыковые, угловые, тавровые, нахлесточные и торцовые соединения. Для образования этих соединений и обеспечения требуемого качества должны быть заранее подготовлены кромки элементов конструкций, соединяемых сваркой. Формы подготовки кромок для ручной дуговой сварки стали и сплавов на железоникелевой и никелевой основе установлены ГОСТ 5264-80.

Геометрические параметры сварных стыковых соединений при сварке плавлением. Рациональная разделка кромок для сварки деталей большой толщины (узкая, щелевая и др.). Геометрические параметры сварных соединений с угловыми швами. Соединения, полученные электрической контактной сваркой и их конструктивные элементы. Дуговые точечные швы. Соединения, выполненные электрошлаковой, электронно-лучевой, лазерной и др. специальными методами сварки. Соединения, полученные сваркой в твердой фазе, характеристика, область их применения. Соединения разнородных материалов и биметаллов, паяные соединения. Условное обозначение сварных и паяных соединений на чертежах в России и за рубежом.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Классификация сварных швов и соединений.
2. Лицевая, оборотная сторона детали.
3. Условно-графические обозначения сварных соединений.
4. Особенности сварных швов.
5. Точечно сварные соединения.

### **Тема 1.2 Классификация нагрузок на сварные соединения**

Распределение напряжения в швах. Температурные напряжения и деформации при сварке. Влияние сварочных деформаций и напряжений на несущую способность сварных соединений и конструкций. Концентрации напряжений, причины их возникновения. Меры предупреждения и снижения концентрации напряжений в сварных швах металлоконструкций.

## Методические указания

Остаточные напряжения отражаются на точности сварных конструкций при механической обработке и последующей эксплуатации. Определить расчетным путем величину ожидаемой деформации в реальных конструкциях в настоящее время не представляется возможным, если не говорить о простейших конструкциях, которые можно свести к пластине или балке. Известные данные свидетельствуют о том, что при небольшой величине снимаемого слоя металла по отношению к размерам обрабатываемого сечения решающее влияние на деформации оказывает не величина остаточных напряжений, а жесткость конструкции. Чем выше жесткость конструкции, тем менее скажется перераспределение напряжений и изменение момента инерции после механической обработки на ее деформации.

Имеются, однако, и другие примеры, подтверждающие влияние жесткости деталей на их деформации. При обработке тонкостенные детали с размером в поперечнике около 40 мм и длиной около 600 мм возникали деформации изгиба и скручивания, легко обнаруживаемые на глаз.

Деформации могут возникнуть в процессе вылеживания. Однако это замечание относится почти исключительно к конструкциям из легированных сталей, когда в результате сварки появляется остаточный аустенит, который распадается с течением времени. Практически конструкции из углеродистых сталей самопроизвольно с течением времени не деформируются.

Влияние сварки на прочность сварных соединений при переменном нагружении определяется суммарным действием нескольких факторов: а) наличием остаточных напряжений, б) наличием концентраторов, свойственных сварным соединениям, в) изменением свойств металла под влиянием термомеханического цикла сварки.

Остаточные напряжения в зависимости от их знака могут оказывать положительное и отрицательное влияние на прочность. Изменение свойств металла после сварки вследствие пластической деформации и эффекта термической обработки обычно происходит в сторону повышения прочности металла. Однако определяющим фактором для вибрационной прочности является наличие концентраторов напряжений, на фоне которых остаточные напряжения и изменение свойств металла оказываются не столь существенными. Единого мнения о влиянии этих факторов пока нет.

Пластические деформации и остаточные напряжения при наличии концентраторов в условиях пониженных температур могут оказывать резко отрицательное влияние на сопротивление сталей началу хрупкого разрушения. Остаточные напряжения могут понизить жесткость конструкции. Деформации при возрастании растягивающих напряжений происходят так, как если бы зоны с  $\sigma = \sigma_T$  вообще отсутствовали в сечении. Очевидно, что жесткость сечения, оцениваемая, например, через  $EI$  или  $EJ$ , будет в этом случае ниже.

Местная устойчивость тонкостенных элементов конструкции определяется величиной действующих в них напряжений - сжатия или сдвига. Нередко местная потеря устойчивости наступает от остаточных напряжений еще до приложения рабочих нагрузок. Естественно, что жесткость сварной конструкции, у которой имеются элементы, потерявшие устойчивость, будет ниже. Потеря местной

устойчивости может явиться непосредственной причиной потери общей устойчивости.

Коррозионная стойкость и прочность металла изменяются при наличии остаточных напряжений определенного уровня и схемы.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1 Работа сварных соединений при действии статической, динамической и вибрационной нагрузок.
- 2 Особенности условий работы сварных соединений при высоких и низких температурах.
- 3 Работа сварных соединений из разнородных материалов
4. Причины образования сварочных деформаций и напряжений и их классификация.
5. Влияния сварочных деформаций и напряжений на прочность сварных конструкций.
6. Основные зависимости для определения сварочных деформаций и напряжений.

### **Тема 1.3 Расчетные сопротивления сварных соединений**

Понятие о равнопрочности. Расчет соединений на растяжение (сжатие), срез, изгиб и сложное сопротивление. Расчет стыковых, нахлесточных соединений. Особенности расчета сварных соединений. Принципы рационального выбора сварных соединений в конструкциях. Основы расчета сварных конструкций на прочность и выносливость.

### **Методические указания**

Расчетные сопротивления стыковых соединений, выполняемых всеми видами дуговой сварки, принимаются равными расчетным сопротивлениям стального проката при условии физического контроля качества швов в растянутых элементах и соблюдении требований [СНиП II-23-81](#) об обеспечении полного провара соединяемых элементов путем двухсторонней сварки, односторонней с подваркой корня шва или односторонней сварки на подкладке.

В случаях, когда в стыковых соединениях невозможно обеспечить полный провар элементов, рекомендуется принимать  $R_{wy} = 0,7 R_y$ .

Несущая способность сварных соединений с угловыми швами зависит от ориентации шва относительно направления усилия, действующего на соединение. Однако учет этой зависимости существенно усложняет расчет соединения, в связи с чем расчетные сопротивления соединений с угловыми швами в главе [СНиП II-23-81](#) приняты для наименее благоприятной ориентации (флангового шва) и независимыми от величины угла между продольной осью шва и направлением силового вектора, действующего на него.

Предельным состоянием для сварных соединений с угловыми швами является опасность разрушения. В связи с этим их расчетные сопротивления установлены по временному сопротивлению металла: для металла шва - в зависимости от нормативного сопротивления металла шва  $R_{wf} = f(R_{wun})$ ; для

металла границы сплавления - в зависимости от нормативного сопротивления основного металла  $R_{wz} = f(R_{un})$ .

Табл. 1.3.1 - Нормативные и расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами

Сварочные материалы		$R_{un}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	$R_{wf}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
тип электрода по <a href="#">ГОСТ 9467-75</a>	марки проволоки		
Э42, Э42А	Св-08, Св-08А	410 (4200)	180 (1850)
Э46, Э46А	Св-08ГА (Св-07ГС)	450 (4600)	200 (2050)
Э50, Э50А	Св-10ГА, Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ, ПП-АН8, ПП-АН3 (Св-07ГС1)	490 (5000)	215 (2200)
Э60	Св-08Г2С2, Св-08Г2СЦ2, Св-10НМА, Св-10Г2	590 (6000)	240 (2450)
Э70	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХН2ГМЮ (Св-08Г2С)3	685 (7000)	280 (2850)
Э85	-	835 (8500)	340 (3450)

1  $R_{wf} = 215$  МПа (2200 кгс/см<sup>2</sup>) только для швов  $kf \leq 8$  мм в конструкциях из стали с пределом текучести 305 МПа (3100 кгс/см<sup>2</sup>) и более

2  $R_{wf} = 240$  МПа (2450 кгс/см<sup>2</sup>) только для швов  $kf \leq 8$  мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 МПа (4500 кгс/см<sup>2</sup>).

3  $R_{wf} = 280$  МПа (2850 кгс/см<sup>2</sup>) только для швов  $kf \leq 8$  мм в конструкциях из стали с пределом текучести 590 МПа (6000 кгс/см<sup>2</sup>)

Табл. 1.3.2 - Расчетные сопротивления срезу (условному) металла границы сплавления сварных соединений с угловыми швами

$R_{un}$	$R_{wz}$	$R_{un}$	$R_{wz}$	$R_{un}$	$R_{wz}$
МПа (кгс/см <sup>2</sup> )		МПа (кгс/см <sup>2</sup> )		МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	
345 (3500)	155 (1600)	430 (4400)	195 (2000)	500 (5100)	225 (2300)
355 (3600)	160 (1600)	440 (4500)	200 (2050)	510 (5200)	230 (2350)
365 (3700)	165 (1650)	450 (4600)	205 (2100)	520 (5300)	235 (2400)
370 (3800)	165 (1700)	460 (4700)	205 (2100)	540 (5500)	245 (2500)
380 (3900)	170 (1750)	470 (4800)	210 (2150)	570 (5800)	255 (2600)
390 (4000)	175 (1800)	480 (4900)	215 (2200)	590 (6000)	265 (2700)
410 (4200)	185 (1900)	490 (5000)	220 (2250)	685 (7000)	310 (3150)

### Вопросы для самоконтроля

1. Выбор и проектирование рациональных видов сварных соединений и швов.
2. Расчетные сопротивления сварных соединений.
3. Конструктивные схемы основных сварных соединений.
4. Расчет стыковых и угловых соединений.
5. Расчет тавровых и нахлесточных соединений.

## Раздел 2. Проектирование сварных конструкций

### Тема 2.1 Принципы классификации сварных конструкций

Основные положения и этапы проектирования сварных конструкций. Основные требования, предъявляемые к сварным конструкциям (проектные и монтажные).

Нормативные документы на проектирование, изготовление, монтаж и приемку сварных конструкций.

#### Методические указания

Большое разнообразие сварных конструкций затрудняет их единую классификацию. Сварные конструкции можно классифицировать:

- по способу получения заготовок (листовые, литосварные, кованосварные, штампосварные);
- по целевому назначению (вагонные, судовые, авиационные и др.);
- по характерным особенностям их работы (балки, рамы, фермы, емкости, сосуды, работающие под давлением, трубы и трубопроводы, корпусные конструкции и т. п.).

При рассмотрении вопросов проектирования и изготовления сварных конструкций последние целесообразно классифицировать в зависимости от характерных особенностей работы. В этом случае можно выделить следующие типы сварных конструкций:

**Балки** - конструктивные элементы, работающие в основном на поперечный изгиб; жестко соединенные между собой балки образуют рамные конструкции.



Рис. 2.1.1 - Балки сварные

**Колонны** - элементы, работающие преимущественно на сжатие или сжатие с продольным изгибом.



**Рис. 2.1.2 - Стык элементов сварных колонн до сварки и после сварки**

**Решетчатые конструкции** - система стержней, соединенных в узлах таким образом, что они испытывают главным образом растяжение или сжатие; к решетчатым конструкциям относятся фермы, мачты, арматурные сетки и каркасы.



**Рис. 2.1.3 - Решетчатые сварные конструкции**

**Оболочковые конструкции**, как правило, испытывают избыточное давление — к ним предъявляют требование герметичности соединений. К этому типу относят различные емкости, сосуды и трубопроводы.



**Рис. 2.1.4 - Емкости из нержавеющей стали**

**Корпусные транспортные конструкции** - конструкции, подвергающиеся динамическим нагрузкам, поэтому к ним предъявляют требования высокой

жесткости при минимальной массе (основные конструкции данного типа - корпуса судов, вагонов, кузова автомобилей).



**Рис. 2.1.5 - Корпус судна**

**Детали машин и аппаратов** работают преимущественно при переменных, многократно повторяющихся нагрузках, поэтому характерным требованием для них является получение точных размеров, обеспечиваемое главным образом механической обработкой заготовок или готовых деталей (примерами таких конструкций являются станины, валы, колеса).

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Принципы классификации сварных конструкций.
2. Принципы технологической классификации сварных конструкций.
3. Решётчатые конструкции.
4. Корпусные транспортные конструкции.

#### **Тема 2.2 Определение технологичности**

Основные направления улучшения технологичности: экономия металла, снижение трудоемкости, экономия времени.

#### **Методические указания**

Технологичность конструкции - это совокупность свойств, определяющих возможность ее изготовления с наименьшими затратами труда и материалов методами прогрессивной технологии в соответствии с требованиями к качеству.

Отработка технологичности - это непрерывный процесс, начинающийся с эскизного проекта конструкции и продолжающийся на всех стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации как опытных, так и серийных образцов. В процессе эксплуатации наиболее технологичной будет конструкция, которая при заданной надежности имеет наименьшее число отказов и требует минимальных затрат на восстановление и обслуживание.

Технологичность конструкции зависит от масштаба ее выпуска и типа производства. Конструкция, высокотехнологичная для одного масштаба выпуска,

может оказаться нетехнологичной для другого. Технологичность отдельных деталей и узлов должна быть увязана со всем изделием в целом. На технологичность сварной конструкции влияют основной и наплавленный металл, точность изготовления деталей, подбор оптимальных конструктивных и технологических баз и размерных цепей, выбор способов сварки, мест эксплуатационных и технологических разъемов, толщина соединяемых деталей, размеры швов, возможность автоматизации и механизации процесса изготовления, применения стандартного оборудования и т.д. Проектирование и изготовление не должны противопоставляться друг другу, должна быть взаимосвязь между ними. На предприятиях, где налажен контроль проектируемых конструкций на технологичность, производятся наиболее технологичные конструкции.

Большое влияние на технологичность сварных конструкций оказывает свариваемость - способность данной конструкции при данном материале обеспечивать высокое качество сварных соединений. Кроме химического состава на свариваемость влияет и толщина свариваемых кромок.

Если для низкоуглеродистых сталей  $C_{\Sigma} > 0,5$ , а для легированных  $C_{\Sigma} > 0,45$ , то необходим подогрев основного металла перед сваркой. Чем больше значение  $C_{\Sigma}$ , тем выше должна быть температура подогрева.

Одним из основных условий технологичности сварных конструкций является доступность ее швов для автоматических процессов сварки. Все швы должны быть доступны сварке в нижнем положении и "в лодочку" с учетом возможности кантовки изделия при дуговой и газопламенной сварке либо в вертикальном положении при дуговой сварке с принудительным формированием шва и при электрошлаковой сварке. При выборе формы разделки кромок следует учитывать, что для сварки поворотных стыков удобна двухсторонняя X-образная разделка, которая в этом случае значительно сокращает объем наплавляемого металла по сравнению с односторонней разделкой. Лишний наплавленный металл ухудшает качество конструкции и увеличивает трудоемкость ее изготовления. Себестоимость единицы массы наплавленного металла в 15...20 раз выше себестоимости единицы массы всей сварной конструкции. Увеличение катета углового шва лишь незначительно повышает его несущую способность, но резко увеличивает объем наплавленного металла. Например, если увеличить катет с 6 до 8 мм, то несущая способность шва увеличится в 1,3 раза, а объем наплавки возрастет в 1,8 раза.

Существуют два подхода к определению технологичности сварной конструкции: качественная оценка на основе инженерного опыта специалистов и количественные критерии, установленные ГОСТ 14.201-83.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Экономичность сварных конструкций.
2. Экономия металла.
3. Снижение трудоемкости.
4. Экономия времени.
5. Технологичность конструкции по условиям работы оборудования.
6. Выбор проката для металлоконструкций.
7. Сварные конструкции под различными нагрузками.

## Тема 2.3 Нормативные и расчетные сопротивления стали

Методика расчета по предельным состояниям. Основные расчетные формулы. Методика расчета по допускаемым напряжениям. Методика прочностных расчетов сварных конструкций общего назначения.

### Методические указания

За нормативные сопротивления принимают минимальные значения:

- а) предела текучести  $R_{ym} = \sigma_T$ ;  
б) временного сопротивления  $R_{tm} = \sigma_B$ .

На металлургических заводах предел текучести и временное сопротивление контролируют выборочно. Следовательно, в МК может попасть материал с худшими свойствами, чем это установлено ГОСТ, поэтому расчетные сопротивления растяжению, сжатию и изгибу для прокатной стали равны нормативным, деленным на коэффициент надежности по материалу  $\gamma_i$ .

Различают расчетные сопротивления:

- а) по пределу текучести:  $R_y = R_{ym} / \gamma_i$ ,  
б) по временному сопротивлению:  $R_u = R_{tm} / \gamma_i$ .

Второе из них применяют очень редко, только для элементов, эксплуатация которых возможна и после достижения предела текучести.

Расчет по предельным состояниям первой группы производится всегда для всех элементов, несущих нагрузку.

Потеря несущей способности может произойти вследствие разрушения материала, потери устойчивости, развития усталости. Для большей части предельных состояний первой группы структура расчетных формул одинакова.

**В основу расчета прочности положено условие:** разрушение не наступит, если наибольшие напряжения не превысят расчетного сопротивления:

$$\text{напряжение} = \frac{\text{внутреннее\_усилие}}{\text{геометрический\_фактор}} \leq \frac{R \gamma_c}{\gamma_n} \quad (1)$$

где R - расчетное сопротивление стали;

$\gamma_c$  - коэффициент условий работы, учитывает неблагоприятные влияния внешней среды и другие обстоятельства, не отражаемые в расчетах прямым путем;

$\gamma_n$  - коэффициент надежности по назначению конструкции.

Усилие в рассчитываемом элементе определяется видом нагружения (при растяжении — нормальная сила N, при изгибе — изгибающий момент M и т. д.).

Геометрический фактор определяется характером распределения напряжений по поперечному сечению элемента (при равномерном распределении — площадь A, при линейном законе распределения — момент сопротивления W и т. д.).

Структура формул для проверки общей устойчивости аналогична, но расчетное сопротивление умножается на понижающий коэффициент, который зависит от характера работы элемента (при центральном сжатии применяется  $\varphi$  - коэффициент продольного изгиба).

**Условие устойчивости:**

$$\text{напряжение} = \frac{\text{внутреннее\_усилие}}{\varphi \cdot \text{геометрический\_фактор}} \leq \frac{R \gamma_c}{\gamma_n} \quad (2)$$

Итак, формулы для проверки устойчивости отличаются от формул для проверки прочности наличием в знаменателе коэффициента  $\varphi$ .

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Нормативные и расчетные сопротивления стали.
2. Методика расчета по предельным состояниям.
3. Основные расчетные формулы.
4. Методика расчета по допускаемым напряжениям.
5. Методика прочностных расчетов сварных конструкций общего назначения.

## **Раздел 3. Сварные конструкции**

### **Тема 3.1 Классификация каркасов промышленных зданий**

Основные элементы каркасов. Общая устойчивость каркасов здания. Вертикальные и горизонтальные связи.

#### **Методические указания**

#### **Классификация промышленных зданий.**

Производственные здания промышленных предприятий подразделяются:

1. По этажности, могут быть одноэтажными, двухэтажными, многоэтажными;
2. По пролетности - однопролетные, двух пролетные, многопролетные;
3. По характеру внутренней среды - отапливаемые и не отапливаемые;
4. По характеру кранового оборудования - с мостовыми опорными кранами, подвесными кранами (кранбалками), без кранового оборудования.

#### **Продольные и поперечные оси.**

Для разбивки здания на чертежах и местности, а также размещения строительных конструкций и их взаимосвязи применяются разбивочные оси. *Условно принимаем буквенные оси* - продольными осями, цифровые - поперечными. Оси «А» и «В» - крайние продольные оси. Ось «Б» - средняя продольная ось. Ось «1» и «п» - крайние поперечные оси. Ось «9» - ось поперечного температурного шва.

Расстояние между продольными осями называется шириной пролета или пролет (П) производственного здания.

Расстояние между поперечными осями называется шагом рам (Ш). Расстояние от крайней поперечной оси до оси температурного шва - называется температурным отсеком (L т.о.).

### Модульная система.

Основным модулем в промышленном строительстве является размер М 600 мм. На его основе принимаются укрупненные модули: 2М=1200мм; 3М=1800мм; 5М=3000мм; 10М= 6000мм; а также дробные модули 0,5М =300мм;

Модульная система необходима для разработки типовых конструкций, типовых пролетов и шага рам, типовых секций.

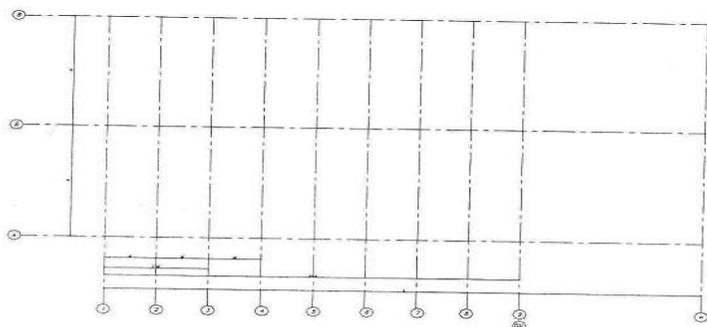


Рис. 3.1.1 - Типы разбивочных осей и их расположение на чертеже

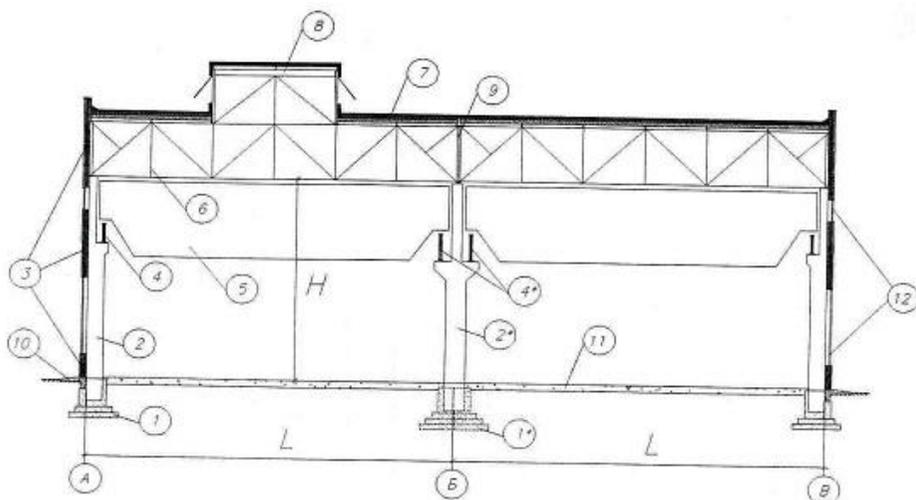


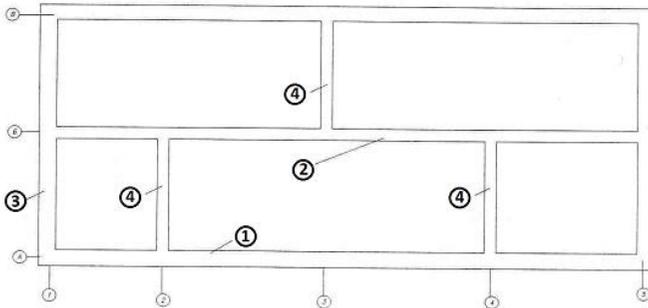
Рис. 3.1.2 - Части одноэтажного промышленного здания:

L - ширина пролета (пролет); H - высота здания от пола до низа несущих конструкций; 1 - столбчатый фундамент под крайний ряд колонн; 1\* - столбчатый фундамент под средний ряд колонн; 2 - колонный крайнего ряда; 2\* - колонный среднего ряда; 3 - наружные стены; 4 - подкрановые балки крайнего ряда; 4\* - подкрановые балки среднего ряда; 5 - грузоподъемные механизмы (краны); 6 -

стропильные несущие конструкции покрытия; 7 - ограждающие конструкции покрытия; 8 - фонари верхнего света; 9 - подстропильные несущие конструкции покрытия; 10 - отмостка; 11 - полы по грунту; 12 - окна.

Здание каркасного типа (с полным каркасом) состоит из: колонны основного каркаса; фахверковые колонны; поперечных навесных стен; продольных навесных стен.

Здание с неполным каркасом состоит из: продольных несущих стен; 2 - внутренних несущих рядов колонн; поперечных самонесущих стен;



**Рис. 3.1.3 - Здание бескаркасное:** 1 - продольные несущие стены; 2 - внутренние несущие стены; 3 - поперечные несущие стены; 4 - поперечные самонесущие стены

### Вопросы для самоконтроля

1. Каркас конструкция производственный здание.
2. Конструктивная схема каркаса двухпролетного производственного здания.
3. Эксплуатационные требования, требования надежности и долговечности.
4. Оптимизация конструктивных решений каркасов промышленных зданий.
5. Область применения стальных и смешанных каркасов промышленных зданий.
6. Смешанные каркасы.

### Тема 3.2 Классификация сварных балок

Требования к сварным балкам. Расчетные нагрузки, действующие на балки. Принципы конструирования сварных балок. Составные сварные балки и их компоновка. Типы сварных соединений в балках составного сечения. Принципы расчета сварных балок на прочность, жесткость и устойчивость. Особенности расчета подкрановых балок .

### Методические указания

С появлением сварных балок, компоновка которых отлична друг от друга, архитектура зданий стала гораздо разнообразнее. Стало возможным оснащать

сооружения широкими пролетами и длинными выносными конструкциями. К тому же за счет уменьшения веса несущей конструкции удалось значительно сократить расходы.

Сварная балка имеет две основные составляющие — полку и стенку. Балки с различной компоновкой имеют разную толщину, параллельные или под уклоном грани полок. Для их изготовления используется широкий набор материалов. Балки каждой компоновки обладают собственными техническими характеристиками и конкретное назначение.

Двутавровая сварная балка — это конструкция, изготовленная листовой стали, которая по своим размерам и форме напоминает горячекатаную балку. Механические параметры данного изделия регламентируются ГОСТом 23118-99, а предельные отклонения по поперечному сечению и форме согласованы с ГОСТом 26020-83. Стандарты не исключают возможности изготовления двутавровой сварной балки на заказ по специальным чертежам.

Двутавровые балки, в зависимости от исполнения, подразделяются на типы:

- широкополочная;
- с параллельными гранями;
- колонная;
- нормальная;
- с уклоном граней полок;
- для армирования стволов шахт;
- для устройства подвесных путей.

Сварная балка, которая изготавливается сегодня, удовлетворяет всем предъявляемым требованиям — она экономична, прочна и рациональна.

### **Конструкции сварных соединений в балках**

Поясные швы сварных балок, а также швы, присоединяющие к основному сечению балки вспомогательные элементы (например, ребра жесткости), должны выполняться непрерывными. При этом допускается применение односторонних поясных швов в сварных двутавровых балках, несущих статическую нагрузку, и швов, прикрепляющих вспомогательные элементы.

В ригелях рамных конструкций у опорных узлов следует применять двухсторонние поясные швы, протяженность которых должна быть не менее высоты сечения ригеля.

В балках и ригелях рамных конструкций применение односторонних поясных швов не допускается.

В сварных двутавровых балках конструкций групп 2-4 следует, как правило, применять односторонние ребра жесткости с расположением их с одной стороны балки.

В балках с односторонними поясными швами ребра жесткости на стенке следует располагать со стороны, противоположной расположению односторонних поясных швов.

Ребра жесткости сварных балок должны быть удалены от стыков стенки на расстояние не менее 10 толщин стенки. В местах пересечения стыковых швов стенки балки с ребром жесткости швы, прикрепляющие ребро к стенке, следует не доводить до стыкового шва на 40 мм.

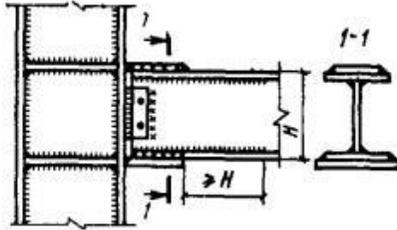


Рис. 3.2.1 - Расположение двухстороннего поясного шва в опорном узле ригеля

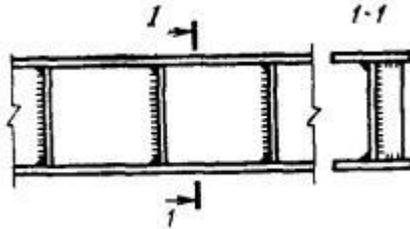


Рис. 3.2.2 - Расположение односторонних ребер жесткости в балке с односторонними поясными швами

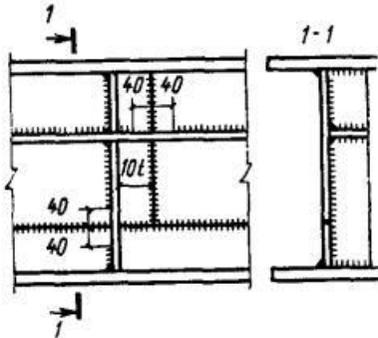


Рис. 3.2.3 - Взаимное расположение стыковых швов и ребер жесткости на стенке балки

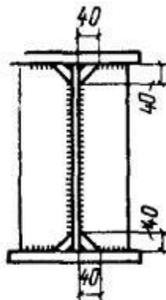


Рис. 3.2.4 - Примыкание ребер жесткости к элементам сечения сварной балки

Торцы вертикальных ребер жесткости сварных балок в местах примыкания их к поясам (за исключением нижних торцов опорных ребер, а также ребер, располагаемых со стороны, противоположной односторонним поясным швам) должны иметь скосы, размеры которых рекомендуется принимать 40×40 мм.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Классификация сварных балок.
2. Нагрузки, действующие на балки.
3. Конструкции сварных балок.
4. Составные сварные балки и их компоновка.
5. Типы сварных соединений в балках составного сечения.
6. Подкрановые балки.

### **Тема 3.3 Назначение и классификация сварных колонн**

Требования, предъявляемые к сварным колоннам. Расчетные нагрузки, действующие на колонны. Основные принципы конструирования сварных колонн. Конструкция и расчет базовой части и оголовков колонн. Стыки колонн. Схема расположения сил. Тип сечений сварных колонн. Узлы сопряжения колонн с балками и фермами. Типы сварных соединений в сварных колоннах. Принципы расчета сварных колонн на прочность и устойчивость.

### **Методические указания**

Сварные колонны, назначение:

\*Для крепления и перемещения головок для дуговой сварки прямолинейных и кольцевых швов сосудов, труб;

\*Для сварки продольных швов.

На тяжелых и супертяжелых колоннах нормирован прогиб под действием собственного веса – 2 мм/м.

Размеры сварочных колонн:

От 1,5х1,5 до 10х10 метров.

Основные части конструкции сварочной колонны:

\*вертикальная стойка, включая механизм подъёма, каретку, противовес, противоаварийное устройство, опорно-поворотное устройство (механизованное или ручное), устройство блокировки поворота (ручное или пневматическое)

\*горизонтальная балка.

### **Конструкции сварных соединений в колоннах**

В центрально-сжатых колоннах и стойках двутаврового сечения допускается применять односторонние поясные швы. При этом в узлах крепления связей, балок, распорок и других элементов в зоне передачи усилия следует применять двухсторонние поясные швы, выходящие за контуры прикрепляемого элемента (узла) на длину  $30k_f$  с каждой стороны.

Угловые швы, прикрепляющие фасонки соединительной решетки к колоннам внахлестку, следует назначать по расчету и располагать с двух сторон

фасонки вдоль колонны в виде отдельных участков в шахматном порядке; при этом расстояние между концами таких швов не должно превышать 15 толщин фасонки.

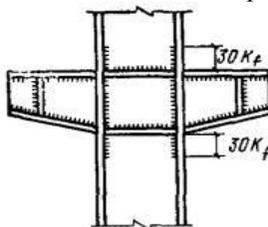


Рис. 3.3.1 - Расположение двухстороннего поясного шва в колонне в узле примыкания балки

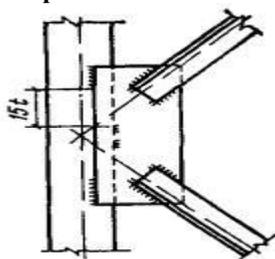


Рис. 3.3.2 - Расположение швов, прикрепляющих фасонку соединительной решетки колонны

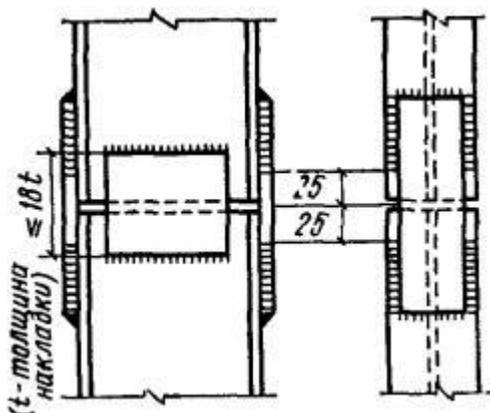


Рис. 3.3.3 - Монтажный стык колонны с накладками

В монтажных стыках колонн, выполняемых на накладках со сварными швами, швы следует не доводить до стыка на 25 мм с каждой стороны или обеспечить зазор в стыке не менее 50 мм. Накладки рекомендуется применять прямоугольной формы.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Сварные колонны.
2. Нагрузки, действующие на колонны.

3. Конструкции сварных колонн.
4. Стыки колонн.
5. Тип сечений сварных колонн.
6. Узлы сопряжения колонн с балками и фермами.
7. Типы сварных соединений в сварных колоннах.

### Тема 3.4 Назначение и классификация сварных ферм

Стропильные фермы, фермы мостов и эстакад. Определение усилий в элементах фермы. Подбор сечений стержней. Конструирование и расчет узлов ферм. Принцип расчета сварных ферм на прочность и устойчивость. Расчет сварных швов ферм. Конструкции монтажных стыков ферм. Опорные узлы ферм.

#### Методические указания

Фермой называют систему стержней (обычно прямолинейных), соединенных между собой в узлах и образующих геометрически неизменяемую конструкцию.

Если нагрузка приложена в узлах, а оси элементов фермы пересекаются в одной точке (центре узла), то жесткость узлов несущественно влияет на работу конструкции и в большинстве случаев их можно рассматривать как шарнирные. Тогда все стержни фермы испытывают только осевые усилия (растяжение или сжатие). Благодаря этому металл в фермах используется более рационально, чем в балках, и они экономичнее балок по расходу материала, но более трудоемки в изготовлении, поскольку имеют большое число деталей. С увеличением перекрываемых пролетов и уменьшением нагрузки эффективность ферм по сравнению со сплошнотенчатыми балками растет.

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

Плоские фермы могут воспринимать нагрузку, приложенную только в их плоскости, и нуждаются в закреплении из своей плоскости связями или другими элементами. Пространственные фермы образуют жесткий пространственный брус, способный воспринимать нагрузку, действующую в любом направлении. Каждая грань такого бруса представляет собой плоскую ферму. Примером пространственного бруса может служить башенная конструкция.

Основными элементами ферм являются пояса, образующие контур фермы, и решетка, состоящая из раскосов и стоек.

Расстояние между узлами пояса называют панелью ( $d$ ), расстояние между опорами - пролетом ( $l$ ), расстояние между осями (или наружными гранями) поясов - высотой фермы ( $h_f$ ).

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

Соединения элементов в узлах осуществляют путем непосредственного примыкания одних элементов к другим или с помощью узловых фасонки. Для того чтобы стержни ферм работали в основном на осевые усилия, а влиянием моментов

можно было пренебречь, элементы ферм следует центрировать по осям, проходящим через центры тяжести.

В зависимости от назначения, архитектурных требований и схемы приложения нагрузок фермы могут иметь самую разнообразную конструктивную форму. Их можно классифицировать по следующим признакам: статической схеме, очертанию поясов, системе решетки, способу соединения элементов в узлах, величине усилия в элементах.

*По статической схеме* фермы бывают: балочные (разрезные, неразрезные, консольные), арочные, рамные и вантовые.

В зависимости от *очертания поясов* фермы подразделяют на сегментные, полигональные, трапециевидные, с параллельными поясами и треугольные.

Выбор типа решетки зависит от схемы приложения нагрузок, очертания поясов и конструктивных требований. Так, во избежание изгиба пояса места приложения сосредоточенных нагрузок следует подкреплять элементами решетки. Для обеспечения компактности узлов угол между раскосами и поясом желательно иметь в пределах  $30...50^\circ$ .

*По способу соединения элементов* в узлах фермы подразделяют на сварные и болтовые. В конструкциях, изготовленных до 50-х годов, применялись также клепаные соединения. Основными типами ферм являются сварные. Болтовые соединения, как правило, на высокопрочных болтах применяют в монтажных узлах.

*По величине максимальных усилий* условно различают легкие фермы с сечениями элементов из простых прокатных или гнутых профилей (при усилиях в стержнях  $N < 3000 \text{ кН}$ ) и тяжелые фермы с элементами составного сечения ( $N > 3000 \text{ кН}$ ).

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Стропильные фермы.
2. Фермы мостов.
3. Эстакады.
4. Принцип расчета сварных ферм на прочность и устойчивость.
5. Опорные узлы ферм.

## **Тема 3.5 Характеристика, особенности и классификация листовых конструкций**

Листовые конструкции промышленных сооружений. Резервуары вертикальные, цилиндрические. Резервуары низкого и повышенного давления. Газгольдеры мокрые и сухие. Бункеры и силосы. Тонкостенные листовые конструкции. Толстостенные металлоконструкции. Нормативные документы на изготовление и монтаж листовых конструкций.

### **Методические указания**

Листовыми конструкциями называют пространственные несущие и часто ограждающие конструкции, выполненные из металлических листов. Назначение их – хранение, транспортировка и раздача жидких, сыпучих и газообразных веществ.

Конструктивная форма – различной конфигурации оболочки, работающие в условиях плоского напряженного состояния.

По форме и назначению листовые конструкции чрезвычайно разнообразны.

*Резервуары.* Назначение их – хранение жидкостей, нефтепродуктов, воды, кислот, сжиженных газов и других веществ. По форме они бывают цилиндрические (вертикальные и горизонтальные), сферические, каплевидные, траншейные и др. По положению в пространстве – надземные, наземные, полузаземленные, подземные и подводные.

*Газгольдеры.* Их включают в сеть между источником и потребителем в качестве аккумуляторов, выравнивающих давление при потреблении газа.

*Бункера и силосы* предназначены для хранения и перегрузки сыпучих материалов – руды, угля, цемента, песка, гравия, зерна и других. Они отличаются высотой призматической (цилиндрической) части, у бункеров плоскость естественного откоса сыпучего материала при расположении в пределах вышеуказанной высоты выходит на поверхность заполняющего бункер вещества, у силосов – не выходит.

*Трубопроводы* больших диаметров ( $D > 0,5$  м) используются для транспортировки жидких веществ, суспензий.

*Специальные конструкции металлургической, химической промышленности, энергетики* и других отраслей (кожухи доменных печей, воздухонагревателей, пылеуловителей, защитные оболочки АЭС, магистральные трубопроводы и т. д.). Такие конструкции обычно проектируют по специальным руководствам.

Условия работы листовых конструкций могут быть очень сложными: внутреннее давление и вакуум, высокие и низкие температуры, переменные нагрузки и агрессивная среда, местные напряжения (краевой эффект). При этом необходимо обеспечить не только прочность, но и плотность соединений. К тому же металл в них часто работает с напряжениями, близкими к расчетным сопротивлениям.

*Соединения.* Для соединения листовых конструкций используется, как правило, сварка. Наиболее рациональным типом расчетного соединения является шов встык. Соединения внахлестку могут быть рекомендованы для упрощения производства работ при небольших усилиях. Но насыщенность листовых конструкций сваркой (на 1 т) в два раза выше, обычных металлических конструкций. Для наиболее напряженных и ответственных швов, как правило встык, следует применять физические методы контроля их качества (рентгеновские или гамма-лучи, магнитографию, ультразвук и др.).

*Материалы.* Для листовых конструкций целесообразно использовать листы толщиной до 4 мм из рулонной холоднокатаной стали, а при толщине до 10 мм – из рулонной горячекатаной стали. Для большинства листовых конструкций рекомендованные нормами марки стали должны удовлетворять дополнительным требованиям по ударной вязкости. Для резервуаров (не считая изотермических) применяется ограниченное количество марок стали:

- малоуглеродистые ВСт3 категорий 2÷6;
- низколегированные 09Г2С, 16Г2АФ категорий 12 и 16 при температурах до –40 °С и –70 °С соответственно;

• в низкотемпературных хранилищах ( $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже) применяют специальные марки сталей (никелесодержащие, нержавеющие).

**Защита от коррозии.** В резервуарах для кислот и других агрессивных жидкостей целесообразно применять алюминированные сплавы или стальные листы, плакированные со стороны агрессивной среды нержавеющей сталью или никелем. Внутреннюю поверхность резервуаров для хранения сернистой нефти защищают от коррозии перхлорвиниловым покрытием. Для защиты от коррозии наружную поверхность резервуаров или газгольдеров покрывают лакокрасочной пленкой. Днища вертикальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров, укладываемые на песчаное основание, защищают от коррозии, пропитывая верхний слой песка толщиной 100 мм жидким битумом, мазутом или нефтью. Песчаное основание устраивается с уклоном  $\frac{1}{50} \div \frac{1}{100}$  от центра резервуара к краям для удаления подтоварной воды и отстоя.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Листовые конструкции.
2. Резервуары вертикальные, цилиндрические.
3. Газгольдеры мокрые и сухие.
4. Бункеры и силосы.
5. Тонкостенные листовые конструкции.
6. Толстостенные металлоконструкции.

## **Тема 3.6 Особенности проектирования и изготовления сварных деталей машин**

Требования по обеспечению прочности и жесткости конструкции деталей машин. Барабаны грузоподъемных машин. Корпуса и крышки редукторов, сварные рамы. Валы и зубчатые колеса. Конструктивные решения и основы расчета. Замена литых и кованных деталей машин сварными.

### **Методические указания**

**Сварные соединения** - это неразъемные соединения, основанные на использовании сил молекулярного сцепления и получаемые путем местного нагрева деталей до расплавленного состояния (сварка плавлением электродуговая, электрошлаковая и др.) или до тестообразного состояния, но с применением механической силы (контактная сварка).

**Дуговая сварка металлическим электродом** осуществляется электрической дугой между электродом и изделием. Выделяемое тепло оплавляет соединяемые детали и расплавляет электрод (или присадочный материал), который дает дополнительный металл для формирования шва. Дуговая электрическая сварка является крупным русским изобретением (Н. И. Бенардос, 1882 г., и Н. Г. Славянов, 1888 г.).

Особенно эффективно применение автоматической сварки в серийном производстве и для конструкций с длинными швами. Для конструкций с короткими

разбросанными швами применяют *полуавтоматическую иланговую сва-ку*, а при малом объеме сварочных работ - *ручную дуговую сварку*.

Для сварки металлических деталей малой толщины, деталей из высоколегированных сталей, цветных металлов и сплавов получили распространение дуговая сварка в среде защитных газов, сварка в углекислом газе и аргонодуговая сварка.

**Электрошлаковая сварка** так же, как и дуговая, представляет собой сварку плавлением; при прохождении тока через шлаковую ванну от электрода к изделию выделяется теплота, расплавляющая основной и присадочный материалы. Электрошлаковая сварка позволяет заменять сложные тяжелые цельнолитые и цельнокованные конструкции сварными из поковок, отливок или листов, позволяет формировать переходные поверхности (галтели), что значительно облегчает и удешевляет производство. Электрошлаковую сварку применяют, в частности, для чугунных отливок.

**Контактная сварка** основана на разогреве стыка теплотой, выделяющейся при пропускании через него электрического тока, и сдавливании деталей. Контактную сварку применяют преимущественно в серийном и массовом производствах.

При сварке *трением* используется теплота, выделяемая в процессе относительного движения свариваемых деталей, преимущественно тел вращения.

Применяют также **специальные виды сварки**:

- 1) *диффузионную*, позволяющую соединять разнородные материалы и обеспечивающую минимальное изменение свойств соединения по сравнению со свойствами основных материалов;
- 2) электронно-лучевую (весьма экономически выгодную) и лазерную, обеспечивающие узкую зону проплавления, малые деформации и позволяющие сварку закаленных деталей;
- 3) радиочастотную, преимущественно применяемую для тонких труб и весьма производительную;
- 4) ультразвуковую в приборостроении для деталей малой толщины из однородных и разнородных металлов;
- 5) сварку взрывом, преимущественно для покрытий.

Весьма эффективны **наплавки**, повышающие износостойкость в 3-10 раз. Возможна наплавка слоя практически любого металла или сплава на заготовку из обычной конструкционной стали.

Недостатком сварки является нестабильность качества шва, зависящая от квалификации сварщика. Этот недостаток в значительной степени устраняется применением автоматической сварки.

**Расчет сварных конструкций.** Прочность сварных соединений при переменной нагрузке.

Сварные соединения, равнопрочные при статических нагрузках соединяемым элементам, при переменных нагрузках оказываются относительно слабее.

Это объясняется: 1) концентрацией напряжений (связанной с геометрией стыка, сварочными дефектами, а для фланговых и косых угловых швов - совместной работой с соединяемыми элементами); 2) остаточными напряжениями; 3) литейной

структурой шва, изменением структуры металла около шва и выгоранием легирующих компонентов.

Наибольшим сопротивлением переменным нагрузкам обладают стыковые соединения, особенно при снятых механической обработкой утолщениях.

Прочность сварных соединений при действии переменных нагрузок сильно зависит от качества швов. Например, при наличии в стыковых швах даже незначительного непровара прочность снижается на 50 %. Такое же снижение получается от сварки электродами с тонкими покрытиями.

Большое значение имеет конструкция швов. Например, прочность при переменных нагрузках тавровых соединений со скосами кромок в связи с меньшей концентрацией напряжений в 1,5 раза выше, чем без разделки кромок. От постановки накладок для усиления стыковых соединений прочность при переменных нагрузках, как правило, не только не увеличивается, но, наоборот, уменьшается в связи с появлением источников резкой концентрации напряжений.

Следует избегать совмещения сварных швов с местами концентрации напряжений от формы. Следует обеспечивать равномерную толщину швов, в частности исключать большие скопления наплавленного металла в местах пересечения швов. Следует так располагать швы, чтобы было удобно их сваривать и контролировать.

Выбор допускаемых напряжений. Допускаемые напряжения в сварных швах при статической нагрузке задаются в долях от допускаемого напряжения основного металла соединяемых элементов на растяжение в зависимости от способа сварки.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Прочность жесткость конструкций деталей машин.
2. Барабаны грузоподъемных машин.
3. Корпуса и крышки редукторов
4. Сварные рамы.
5. Валы и зубчатые колеса.

## ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Номер раздела, темы	Номер и наименование занятия
Раздел 1	1. Расчет подкрановых балок по предельному состоянию. 2. Расчет площади поперечного сечения шва с использованием нормативной и справочной литературы для производства сварных изделий с заданными свойствами.
Раздел 2	3. Расчет элемента машиностроительной конструкции. 4. Расчет сварных швов поясов ферм.
Раздел 3	5. Конструирование схем металлических конструкций различного назначения. 6. Расчёт и проектирование сварных изделий с заданными свойствами с использованием нормативной и справочной литературы.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ

1. Преимущество и недостатки сварных конструкций и требования к ним.
2. Классификация сварных конструкций.
3. Конструкционные материалы для сварных конструкций.
4. Выбор конструкционных материалов. Сортамент.
5. Задачи расчета сварных конструкций. Расчетная схема.
6. Классификация нагрузок, действующих на сварные конструкции. Напряжения.
7. Суть метода расчета сварных конструкций по допускаемым напряжениям.
8. Суть метода расчета сварных конструкций по предельным состояниям.
9. Сопротивление усталости и расчет на выносливость сварных конструкций. Способы предотвращения усталостных разрушений.
10. Виды сварных соединений и типы сварных швов, выполняемые дуговой сваркой.
11. Сварные соединения, выполняемые контактной и специальными видами сварки.
12. Распределение напряжений в сварных швах.
13. Влияние температуры на прочность сварного шва.
14. Расчет и конструирование стыковых соединений.
15. Расчет и конструирование нахлесточных, тавровых и угловых соединений.
16. Расчет соединений, выполненных контактной сваркой.
17. Этапы проектирования сварных конструкций, пути повышения технологичности.
18. Каркасы промышленных зданий и их основные элементы.
19. Типы балок и области их применения.
20. Общие принципы проектирования сварных балок. Этапы проектирования сварных балок.
21. Определение высоты и конструирование сечения двутавровой балки.
22. Обеспечение прочности и устойчивости балки и ее элементов.
23. Проектирование сварных соединений балок.
24. Опорные части балок, их конструирование и расчет.

25. Работа балок на кручение.
26. Назначение, классификация и конструкция сварных колонн.
27. Основы расчета сварных стержней на устойчивость.
28. Расчет сварных колонн со сплошным поперечным сечением.
29. Расчет сварных колонн с составными поперечными сечениями.
30. Соединительные элементы колонн и их расчет. Стыки сварных колонн.
31. Базы колонн, их назначение, конструкции и расчет.
32. Оголовки колонн, их назначение, конструкции и расчет.
33. Назначение и классификация ферм, типы сечений элементов ферм.
34. Общие принципы расчета сварных ферм.
35. Конструкции стыков и опорных узлов ферм и их расчет.
36. Общая характеристика и классификация оболочковых конструкций.
37. Назначение и типы обечаек.
38. Назначение и типы днищ. Конструкция и области применения эллиптических сферических, конических и плоских днищ.
39. Назначение и типы крышек.
40. Назначение фланцев, конструкция фланцевого соединения. Классификация фланцев по назначению, типу уплотнительной поверхности и конструкции. Крепежные детали фланцевых соединений и типы уплотнений.
41. Назначение, типы и конструкции штуцеров, бобышек, смотровых окон, люков.
42. Опоры и устройства для строповки аппаратов.
43. Общие принципы расчета оболочек на прочность.
44. Расчет обечаек и днищ на прочность и устойчивость.
45. Общие принципы расчета фланцевых соединений.
46. Расчет опор и строповых устройств.
47. Конструкции емкостных аппаратов и резервуаров.
48. Трубопроводы, их назначение, основные элементы и расчет на прочность.
49. Трубопроводная арматура, назначение, классификация, типы.
50. Сварные детали и узлы машин.

## **1. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Необходимым этапом самостоятельной работы для студентов заочной формы обучения над программным материалом является выполнение одной контрольной работы по предложенному варианту. Зачётная контрольная работа предъявляется до экзамена.

Контрольная работа - это самостоятельная работа студента с литературой, ответы на поставленные вопросы и выполнение конкретных заданий, она должна показать умение студента кратко и четко отвечать на поставленные в теме вопросы, подбирать и использовать необходимые для ответа материалы.

Цель конкретной работы - привить навыки самостоятельного изучения учебного материала, закрепление знаний по изучаемой дисциплине.

Контрольная работа должна быть выполнена в установленные учебным графиком сроки, по правильному варианту и выполнена в соответствии с требованиями.

К выполнению работы следует приступить только после тщательного изучения теоретического материала согласно содержанию программы.

Ответы на вопросы нужно начинать с новой страницы. Вопросы необходимо переписывать полностью. Ответы на них должны быть четкими и конкретными, содержать необходимые иллюстрации (схемы, графики, таблицы), ссылки на литературу.

Получив контрольную работу после проверки, студент должен ознакомиться с рецензией и с учетом замечаний доработать отдельные вопросы.

Незачтенная контрольная работа возвращается студенту, выполняется новая контрольная работа по указанному преподавателем варианту и сдается этому же преподавателю на проверку с незачтенной контрольной работой.

Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, возвращается без проверки и зачета. Студенты, не выполнившие контрольные работы или получившие за них отрицательную оценку (незачет), к сдаче экзамена не допускаются.

При написании и оформлении контрольных работ необходимо соблюдать следующие правила:

1. Текст печатается на стандартных листах формата А4 с одной стороны шрифтом TimesNewRoman размером 14 кеглей (через 1,5 интервала), сноски, таблицы (шрифт – 12, через 1 интервал), с оставлением полей: слева – 30 мм, сверху – 25 мм, справа – 10 мм, снизу – 25 мм.

Расстановка переносов – автоматически, абзац – 1,25, выравнивание – по ширине без отступов.

2. В работе используется сквозная нумерация страниц, включая библиографию и приложения. На первой странице (титульном листе) номер не ставится, оглавление работы нумеруется цифрой 2. Номер страницы проставляется арабскими цифрами в правом верхнем углу страницы.

Каждая часть, библиография, приложения начинаются с новой страницы.

3. Для контрольной работы используется титульный лист установленной формы (форма утвержденного титульного листа общая для всех контрольных работ

находится на сайте техникума)

4. Таблицы, рисунки должны иметь порядковый номер и название;
5. Приложения должны иметь порядковый номер (Приложение 1 и т.д.)...,
6. Объем работы от 10 до 15 страниц без приложений.
7. Завершает работу список использованных источников, который должен быть оформлен строго в соответствии с установленными правилами.
8. В конце контрольной работы следует поставить дату выполнения контрольной работы и свою подпись.
9. Выбор варианта.

Контрольная работа содержит 25 вариантов. Вариант контрольной работы определяется по **последним двум цифрам номера студенческого билета**. Контрольная работа содержит 1 практическое задание.

## Контрольная работа

Необходимо выполнить предлагаемый расчет сварной фермы методом вырезания узлов, определить усилия в несущих стержнях, сделать выводы о степени нагруженности стержней сварной фермы. В табл. 1 представлены варианты.

Табл. 1. - Данные вариантов контрольных работ

Параметры нагрузки и раз- меров фер- мы  номер варианта	P <sub>1</sub> , кН	P <sub>2</sub> , кН	P <sub>3</sub> , кН	a, м	$\alpha^0$	$\beta^0 = 90 - \alpha$	κ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	20	5	200	2	15	75	0,4
2	100	180	10	4	20	70	0,55
3	25	10	190	6	25	65	0,7
4	150	15	30	1	30	60	0,87
5	200	50	25	5	45	45	1,5
6	30	70	180	15	15	75	0,4
7	120	85	20	3	20	70	0,55
8	35	170	150	2,5	25	65	0,7
9	110	60	120	7	30	60	0,87
10	40	160	55	3,5	45	45	1,5
11	130	80	60	8	15	75	0,4
12	50	190	40	4,5	20	70	0,55
13	140	75	95	9	25	65	0,7
14	60	130	175	5,5	30	60	0,87
15	150	170	50	10	45	45	1,5
16	70	150	145	6,5	15	75	0,4
17	160	70	100	7,5	20	70	0,55
18	80	140	130	8,5	25	65	0,7
19	170	50	80	9,5	30	60	0,87
20	90	120	160	11	45	45	1,5
21	180	40	70	11,5	15	75	0,4
22	15	185	140	12,5	20	70	0,55
23	200	25	90	13	25	65	0,7
24	10	95	170	13,5	30	60	0,87
25	15	30	190	14	45	45	1,5

## Методические указания к решению задачи

Рассчитать усилие методом вырезания узлов в стержнях сварной фермы, представленной на рис.1.

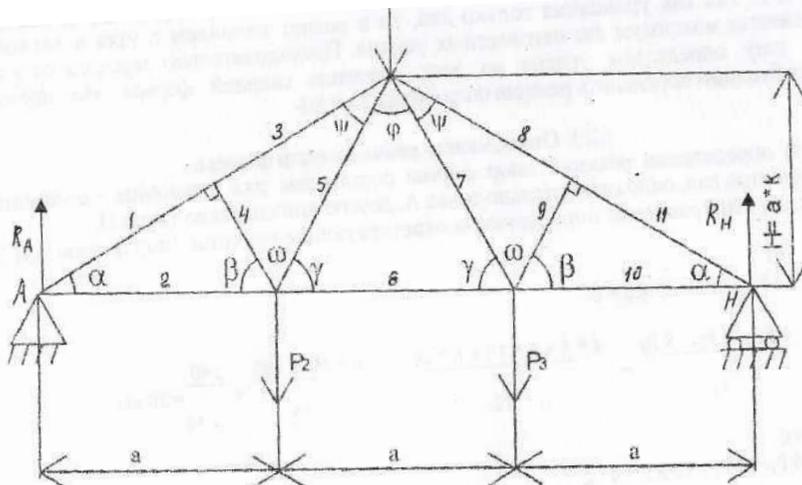


Рис.1. Сварная ферма.

### Порядок выполнения работы

1. Выбрать вариант задания.
2. Выполнить эскиз сварной фермы, в соответствии с выбранным вариантом в тетради в клетку.
3. Выполнить дополнительные построения.
4. Определить реакции опор.
5. Определить усилия в стержнях фермы.
6. Сделать вывод о нагруженности несущих стержней фермы.
7. Оформить работу в тетради.
8. Предоставить выполненную работу в учебную часть для передачи преподавателю дисциплины на проверку.
9. В назначенный срок получить зачет по контрольной работе.

### Пример выполнения задания

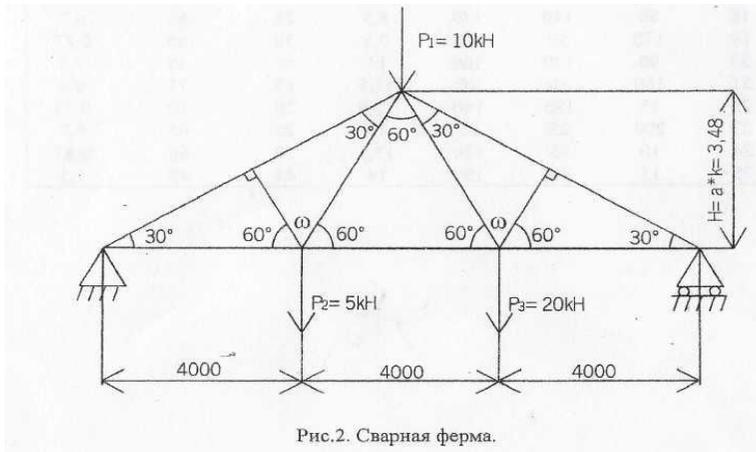
#### 1. Задание

Пишем задание:

Рассчитать усилие методом вырезания узлов сварной фермы с параметрами.

#### 2. Решение

Выполнить эскиз данной фермы.



### 2.1. Дополнительные построения

Вносим дополнительные построения и обозначаем согласно выбранного варианта самостоятельной работы. Обозначаем узлы фермы заглавными буквами. Присваиваем каждому стержню свой порядковый номер АВ - 1; АС - 2; ВС -3; ВД - 4 и так далее Указываем направление осей ОХ и ОУ. Обозначим направление сил реакций опор фермы. Определяем все углы между стержнями. Результаты преобразований представлены на рисунке.

### 2.2. Метод вырезания узлов

После построение дополнений приступаем непосредственно к расчету усилий в стержнях методом вырезания узлов. Нагрузка в ферме определяется таким образом, что стержни фермы, в основном, испытывают деформации растяжения, чем сжатия. Для определения возможных деформаций в конструкции применяем метод вырезания узлов фермы. Этот метод заключается в следующем. Выделяем и мысленно вырезаем узлы с прилегающими к нему стержнями и считаем, что система находится в равновесии; указываем направление осей ОХ, ОУ; вместо стержней обозначаем усилия под соответствующим номером и направлением их от узла. Составляем два уравнения равновесия в виде проекций сил на ось ОХ и ОУ. Так как уравнения только два, то и расчет начинаем с узла, в котором имеются максимум два неизвестных усилия. Последовательно переходя от узла к узлу определяем усилия во всех стержнях сварной фермы. Но прежде необходимо определить реакции опор фермы  $R_A$  и  $R_H$ .

### 2.3. Определение реакции опор фермы

Для определения реакции опор фермы составляем два уравнение равновесия моментов сил, одно относительно точки А, другое относительно точки Н.

Решая эти уравнения определяем соответствующие реакции опор фермы А и Н.

$$\sum M_A = 0$$

$$-4 P_2 - 6 P_1 - 8 P_3 + 12 R_H = 0$$

$$R_H = \frac{4 P_2 + 6 P_1 + 8 P_3}{12} = \frac{4 \cdot 5 + 6 \cdot 10 + 8 \cdot 20}{12} = \frac{20 + 60 + 160}{12} = \frac{240}{12} = 20 \text{ кН}$$

$$\sum M_H = 0$$

$$4 P_3 + 6 P_1 + 8 P_2 - 12 R_A = 0$$

$$R_A = \frac{4 P_3 + 6 P_1 + 8 P_2}{12} = \frac{4 \cdot 20 + 6 \cdot 10 + 8 \cdot 5}{12} = \frac{80 + 60 + 40}{12} = \frac{180}{12} = 15 \text{ кН}$$

Реакции опор Н и А соответственно равны  $R_H = 20 \text{ кН}$ ,  $R_A = 15 \text{ кН}$ .

#### 2.4. Определение усилия в стержнях фермы

Приступая к определению усилий в стержнях данной фермы, необходимо определить с какого узла начнем наш расчет. Выбираем узел фермы, имеющий минимальное количество (не более двух) стержней с не известным в них усилием. В нашем случае это будет узел А, поэтому с него начнем расчет усилий методом вырезания.

Мысленно вырезаем узел из фермы, указываем усилия всех стержней и направляем их от узла. Определяемся с направлением осей ОХ и ОУ. Составляем два уравнения равновесия проекций сил на ось ОХ и ОУ. Решив эти уравнения, находим усилия в первом и втором стержнях фермы.

Знак «минус» показывает, что в действительности усилии в стержне направлено к узлу.

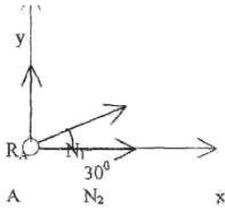


Рис. 3. Расчетная схема в узле А.

$$\sum F_{Ay} = 0$$

$$R_A + N_1 * \sin 30^\circ = 0$$

$$N_1 = -\frac{R_A}{\sin 30^\circ} = -\frac{15}{0.5} = -30 \text{ кН}$$

$$\sum F_{Ax} = 0$$

$$N_2 + N_1 * \cos 30^\circ = 0$$

$$N_2 = -N_1 * \cos 30^\circ = -(-30) * \sqrt{3}/2 = 26 \text{ кН}$$

Выбираем следующий узел с двумя неизвестными усилиями в стержнях. Теперь это будет уже узел В.

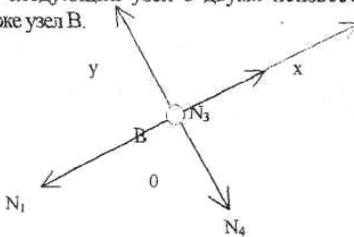


Рис. 4. Узел В.

Выбираем направление осей ОХ и ОУ. Для упрощения расчета ось ОХ удобнее направить вдоль стержней АВ и ВD. Составляем два уравнения равновесия проекций сил. Решаем эти уравнения и находим значения усилий в третьем и четвертом стержнях фермы.

$$\sum F_{Bx} = 0$$

$$-N_1 + N_3 = 0 \quad N_3 = N_1, \quad N_3 = -30 \text{ кН}$$

$$\sum F_{By} = 0$$

$$-N_4 = 0$$

Усилие в третьем стержне равно 30 кН, а в четвертом стержне равно нулю. Следующим для анализа выбираем угол С. Выполняем все операции, что и в предыдущих двух случаях, находим усилие в пятом и шестом стержнях.

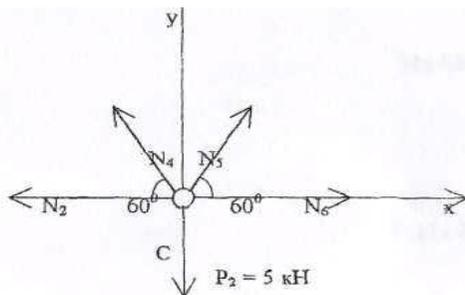


Рис. 6. Расчетная схема узла С.

$$\sum F_{Cy} = 0$$

$$N_4 * \cos 30^0 + N_5 * \cos 30^0 - P_2 = 0$$

$$N_5 = \frac{P_2}{\cos 30^0} = \frac{5}{0.5} = 10 \text{ кН}$$

$$\sum F_{Cx} = 0$$

$$N_6 - N_2 + N_5 * \cos 60^0 - N_4 * \cos 60^0 = 0$$

$$N_6 = N_2 - N_5 * \cos 60^0 = 26 - 10 * 0.5 = 21 \text{ кН}$$

Посмотрим на схему и увидим, что с двумя неизвестными усилиями в стержнях в ферме находится узел Н. Мысленно вырезаем этот узел, составляем уравнение равновесия, находим усилия в стержнях одиннадцать и десять.

Расчетная схема этого узла представлена на рис. 6.

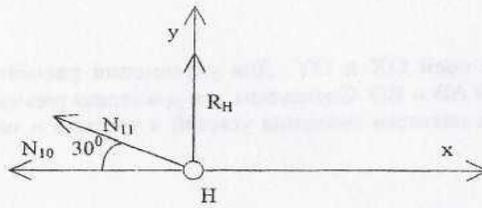


Рис. 6. Расчетная схема узла H.

$$\sum F_{Hy} = 0$$

$$R_H + N_{11} \cdot \sin 30^\circ = 0$$

$$N_{11} = \frac{R_H}{\sin 30^\circ} = \frac{-20}{0.5} = -40 \text{ кН}$$

$$\sum F_{Hx} = 0$$

$$-N_{10} - N_{11} \cdot \cos 30^\circ = 0$$

$$N_{10} = -N_{11} \cdot \cos 30^\circ = -35 \text{ кН}$$

Усилие в десятом стержне равно 35 кН, а в одиннадцатом 40 кН. Далее аналогично ведем расчет в узле F.

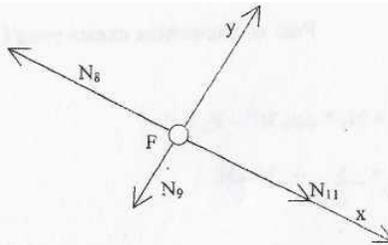


Рис. 7. Расчетная схема узла F.

$$\sum F_{Fy} = 0$$

$$N_{11} - N_8 = 0$$

$$N_8 = N_{11}$$

$$N_8 = -40 \text{ кН}$$

$$\sum F_{Fx} = 0$$

$$-N_9 = 0$$

$$N_9 = 0$$

Усилие в стержне DF равно 40 кН, а усилие в стержне EF равно нулю.

Затем вырезаем узел E. Результаты преобразований представлены на рисунке 8.

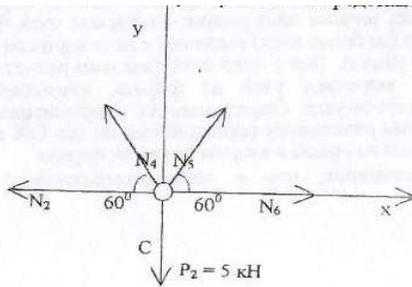


Рис. 8 . Расчетная схема узла E.

Так как усилия в стержнях 6,9 и 10 уже известны, то достаточно составить одно уравнение, а, решив его, находим усилие в стержне номер 7.

$$\sum F_{By} = 0$$

$$N_7 * \sin 30^0 + N_9 * \sin 30^0 - P_3 = 0$$

$$N_7 = \frac{P_3}{\sin 30^0} = \frac{20}{0.5} = 40 \text{ кН}$$

Таким образом, мы определяем усилия во всех стержнях сварной фермы. Результаты вычислений записываем в табл. 2.

Табл. 2. - Расчетные усилия в стержнях фермы

Номер стержня	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11
Усилие, кН	30	26	30	0	10	21	40	40	0	35	40

### 2.5. Анализ расчетных усилий.

Расчетные звенья, сведенные в табл. 2, а так же рис.2, фермы позволяет оценить характер погружений и исключить возможные противоречия. Для этого следует визуально отметить сжатые и растянутые стержни, панели, стойки и раскосы. При движении точки D (рис.2) вниз панели AD и DH могут только сжиматься, а панели AH - только растягиваться. При этом, если табличные значения противоречат таким оценкам, то следует проверить расчеты. Раскосы BC и FE не нагружены. Студенту предлагается выяснить их назначение и целесообразность в конструкции.

## 5. ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература:

1. Ковтунов, А.И. Проектирование сварочных цехов: практикум / А.И. Ковтунов, Д.И. Плахотный. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015 – 55 с.
2. Конюшков Г.В. Специальные методы сварки плавлением. / Г.В. Конюшков, В.Г. Конюшков, В.Ш. Авагян. — М.: Дашков и К, Ай Пи Эр Медиа, 2014. — 144 с.
3. Федосов, С.А. Основы технологии сварки [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С.А. Федосов, И.Э. Оськин. — Электрон. дан. — Москва: Машиностроение, 2014. — 125 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/63218> .
4. Чернышов, Г.Г. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.Г. Чернышов, Д.М. Шашин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 464 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/> .
5. Гаспарян В.Х. Электродуговая и газовая сварка [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Х. Гаспарян, Л.С. Денисов. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2013. — 304 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/24088.html> .
6. Дедюх Р.И. Технология сварки плавлением. Часть II. учебное пособие / Р.И. Дедюх. — Томск: Томский политехнический университет, 2015. — 170 с.
7. Лупачёв В.Г. Ручная дуговая сварка: учебник / В.Г. Лупачёв. — Минск: Вышэйшая школа, 2014. — 416 с.

### Дополнительная литература:

8. Расчет и проектирование сварных конструкций: Практикум и курсовое проектирование: учеб. пособие для студ. сред. проф. образования / В. В. Овчинников. — М.: Издательский центр «Академия», 2010. — 224 с.
9. Справочник под ред. Е. С. Ямпольского. Проектирование машиностроительных заводов и цехов. – М.: Машиностроение, 1974, т.3. – 393с.
10. Николаев Г.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции, Расчет и проектирование. Учебник для вузов. - М.: Выс.шк., 1990.
11. Сергеев Н.П. Справочник молодого электросварщика. — М.: Высшая школа, 1980. — 192 с.
12. Сварка (основные сведения). Часть 1. / Лазарсон Э. В., Мочалова Т. Ф., Тьткин Ю. М., Щицын Ю. Д. Под редакцией Сигаева А. А. – Пермь, ПГТУ, 2001. – 165 с.
13. Шебеко Л.П. Оборудование и технология автоматической и полуавтоматической сварки. Учебник для техн. и проф. - техн. училищ. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М: Высш. Школа, 1975. - 351 с.
14. Оботуров В. И. Сварка стальных трубопроводов. – М.: Стройиздат, 1991 . – 287 с.
15. Козулин М. Г.. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций: учебное пособие.- Тольятти: 2002. - 287 с.

16. Красовский А. И.. Основы проектирования сварочных цехов. – М.: Машиностроение, 1980. – 395 с.

17. Глухов Л.В., Иванов С.Д., Лукашкина Н.В. Основы расчета и конструирования. - М.: Издательство МГУ, 1996.

18. Юхин Н.А. Под ред. О.И.Стеклова. Газосварщик. Уч. пособие для УНПО, Гриф Допущено Минобнауки России, ИЦ Академия, 2007г. 160 с.

Электронная библиотека	- Электронно-библиотечная система "Iprbookshop" <a href="http://www.iprbookshop.ru/6951.html">http://www.iprbookshop.ru/6951.html</a> .
------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### **Периодические издания:**

19. Информационно-технический журнал «Сварщик»;

20. Журнал «Автоматизируемая сварка» -  
<http://patonpublishinghouse.com/rus/journals/as> ;

21. Информационно-технический журнал «Сварщик в России» -  
<http://booktech.ru/journals/svarshchik-v-rossii/2341-svarshchik-v-rossii-2013-06.html> .

#### **Интернет-ресурсы:**

22. Портал «Сварка, резка, металлообработка». [Электронный ресурс]: Режим ввода: <https://www.autowelding.ru/> ;

23. Портал сварных конструкций. [Электронный ресурс]: Режим ввода: [www.svarkov.ru](http://www.svarkov.ru) ;

24. Информационный портал «Сварка и Пайка». [Электронный ресурс]: Режим ввода: <http://svarkaipayka.ru/o-sayte> ;

25. Сборник видео по сварке. [Электронный ресурс]: Режим ввода: <https://www.youtube.com/channel/UCIgbfMKZSIKN8SI-aCT2o2g> ;

26. Форум сварщиков. [Электронный ресурс]: Режим ввода: <http://websvarka.ru/talk/> .