

Министерство образования Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
**СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАОЧНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**
Кафедра технологии материалов и сварки

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рабочая программа
Задание на контрольную работу
Методические указания к выполнению контрольной работы
Задание на курсовой проект
Методические указания к выполнению курсового проекта

Факультет технологии веществ и материалов

Направление и специальность подготовки дипломированного специалиста:

651400 – машиностроительные технологии и оборудование

120500 — оборудование и технология сварочного производства

Направление подготовки бакалавров

551800 – технологические машины и оборудование

Санкт-Петербург

2003

Утверждено редакционно-издательским советом университета

УДК 624.078./07/

Проектирование сварных конструкций: Рабочая программа, задание на контрольную работу, методические указания к выполнению контрольной работы, задание на курсовой проект, методические указания к выполнению курсового проекта. – СПб.: СЗТУ, 2003. - 32 с.

Дисциплина охватывает основные разделы расчёта и проектирования сварных конструкций. Рассматриваются общие сведения, методика расчета сварных соединений и основных элементов сварных конструкций, примеры сварных конструкций и сооружений.

Приведена рабочая программа дисциплины, даны методические указания, представлены варианты контрольного задания и задания на курсовой проект.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлению подготовки дипломированных специалистов 651400 (специальность 120500 – оборудование и технология сварочного производства) и направлению подготовки бакалавров 551800.

Рассмотрено на заседании кафедры технологии материалов и сварки 5 ноября 2001 г., одобрено методической комиссией факультета технологии веществ и материалов 27 мая 2002 г.

Рецензенты: кафедра технологии материалов и сварки СЗТУ (и.о. заведующего кафедрой А.С. Тарасов, канд. техн. наук, доц.); кафедра технологии конструкционных материалов и сварки Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций (заведующий кафедрой Л.И. Погодаев, д-р техн. наук, проф., академик).

Составители: А.Г. Зинченко, канд. тех. наук, доц.,
В.В. Турбин, доц.,
А.В. Шурпицкий, канд. техн. наук, доц.

© Северо-Западный государственный заочный технический университет, 2003

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина "Проектирование сварных конструкций" является составной частью фундаментальной теоретической подготовки по специальности 120500 "Оборудование и технология сварочного производства". Она изучает особенности сварных конструкций, материалы для их изготовления, методы расчета сварных соединений, конструирование и расчет сварных соединений при статической и динамической нагрузках, а также особенности работы отдельных элементов и сварных конструкций в целом, их конструирование и расчет.

ЦЕЛЬ преподавания дисциплины - сообщение студентам знаний по расчету и проектированию сварных конструкций.

В результате изучения дисциплины будущие инженеры по специальности "Оборудование и технология сварочного производства" должны:

ЗНАТЬ особенности сварных конструкций, требования к материалам для их изготовления, причины образования сварочных деформаций и напряжений и их влияние на прочность, распределение напряжений в сварных соединениях, особенности работы отдельных элементов и цельных сварных конструкций, методы расчета и проектирования сварных конструкций;

УМЕТЬ составлять технологические задания на проектирование сварных конструкций, конструировать и рассчитывать сварные соединения при действии статической и динамической нагрузок, конструировать и рассчитывать различными методами отдельные элементы и цельные сварные конструкции, осуществляет авторский надзор за реализацией проектных решений.

Изучение дисциплины опирается на курсы высшей математики, физики, материаловедения, технологии конструкционных материалов, сопротивление материалов и философии в соответствии с учебным планом специальности 120500.

Отдельные разделы дисциплины в соответствии с положением о непрерывной подготовке студентов могут использоваться во всех последующих профилирующих дисциплинах специальности 120500, а также при курсовом и дипломном проектировании.

1.СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА (Объем курса 170 часов)

ВВЕДЕНИЕ

Цель и задачи дисциплины «Проектирование сварных конструкций», её объём и содержание. Преимущества сварных конструкций и их значение. Краткий обзор развития сварных конструкций в различных отраслях промышленности и строительства. Перспективы дальнейшего развития сварных конструкций.

1.1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДИСЦИПЛИНЕ

1.1.1.1. Особенности сварных конструкции

[1], с. 231-243, 269-271, 305-306

Характеристика теплового режима процесса сварки. Влияние неоднородности металла сварного соединения на условие его работы. Технологическая прочность сварных соединений. Меры по предупреждению трещин при формировании шва в процессе его охлаждения. Требования к материалу сварных конструкций, их конструктивному оформлению и технологии изготовления.

1.1.1.2. Материал сварных конструкций

[1], с. 13-38

Основной металл. Характеристика малоуглеродистой и низколегированной стали. Характеристика легких сплавов, применяемых в сварных конструкциях. Характеристика сварочных материалов. Методика выбора сварочных материалов для сварных конструкций. Современные методы оценки свойств металла, определяющие его пригодность для сварных конструкций.

1.1.1.3. Сварочные деформации и напряжения

[1], с. 161-230

Причины образования сварочных деформаций и напряжений и их классификация. Влияние сварочных деформаций и напряжений на прочность сварных конструкций. Основные зависимости для определения сварочных деформаций и напряжений.

1.1.1.4. Методы расчета сварных конструкций [1], с. 40-104

Характеристика нагрузок, действующих на сооружение, и их классификация. Составление расчетной схемы для отдельных элементов сварных конструкций. Предельные состояния конструкций и их характеристика. Расчет сварных конструкций по методу предельных состояний и допускаемым напряжениям. Нормы предельных сопротивлений и допускаемых напряжений. Коэффициенты безопасности.

1.1.2. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

1.1.2.1. Типы сварных швов и соединений [1], с. 88-92

Классификация сварных швов и соединений. Условные обозначения сварных швов на чертежах. Сварные швы, выполняемые ручной, полуавтоматической и автоматической дуговой электросваркой. Особенности сварных швов, выполненных другими способами.

1.1.2.2. Характеристика различных сварных соединений и области их применения [1], с. 48-63, 286-288

Соединение встык, впритык, внахлест. Точечно-сварные соединения и соединения, выполняемые шовной сваркой. Комбинированные соединения.

1.1.2.3. Прочность сварных соединений [1], с. 41-48, 129-142

Работа сварных соединений при действии статической, ударной и вибрационной нагрузок. Особенности условий работы сварных соединений при высоких и низких температурах. Работа сварных соединений из разнородных материалов.

1.1.2.4. Конструирование и расчет сварных соединений при действии статической нагрузки [1], с. 41-48

Условие равнопрочности сварных соединений и меры его обеспечения. Расчеты сварных соединений при осевой нагрузке, при действии изгибающего момента и перерезывающей силы, при скручивании.

1.1.2.5. Конструирование и расчет сварных соединений при динамической нагрузке [1], с. 129-131, 147-151

Диаграмма выносливости. Методика расчета на выносливость. Характеристики вибрационной прочности сварных соединений. Методы повышения вибрационной прочности сварных соединений.

1.1.3. ЭЛЕМЕНТЫ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1.3.1. Сварные балки [1], с. 269-303

Типы двутавровых балок и принципы их рационального проектирования. Местная и общая устойчивость сварных балок. Подбор сечения сварных балок. Конструктивное оформление их стыков. Оформление ребер жесткости. Конструирование и расчет узлов пересекающихся балок.

1.1.3.2. Сварные колонны [1], с. 305-320

Схемы опирания колонн и их расчетные схемы. Особенности работы сварных стоек и колонн. Конструкция и расчет колонн, воспринимающих центральное и внецентральное сжатие. Сплошные и сквозные колонны. Типы соединительных решеток. Башмаки и оголовки колонн. Типы сопряжения балок с колоннами.

1.1.3.3. Сварные фермы [1], с. 342-366

Схема расчета сварных ферм. Дополнительные напряжения от жесткости узлов. Характеристика ферм различных типов. Типы сечений элементов сварных ферм и их расчет. Конструирование и расчет узлов сварных ферм. Концентрация напряжений в узлах и меры ее снижения. Сварные безраскосные фермы и рамы. Облегченные решетчатые фермы. Элементы несущих арматурных каркасов железобетонных конструкций.

1.1.3.4. Сварные детали машин [1], с. 400-429

Особенности конструирования и изготовления сварных деталей в машиностроении. Преимущества комбинированных сварных конструкций

из литых, кованных, штампованных деталей и из проката. Комбинированные конструкции из разнородных материалов. Машиностроительные детали и конструкции: рамы и станины, детали и узлы современных машин и аппаратов; сварные барабаны, шестерни, шкивы.

1.1.4. ПРИМЕРЫ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

1.1.4.1. Характеристика пространственных конструкции

[1], с. 247-249

Особенности условий работы пространственных конструкции. Обеспечение устойчивости и жесткости пространственных конструкций. Системы продольных и поперечных связей. Выбор монтажной схемы сооружений.

1.1.4.2. Сооружения балочного типа

[2], с. 108-133

Балочные клетки перекрытий и рабочих площадок. Рамы вагонов и локомотивов. Проезжая часть пролетного строения моста. Мостовой кран.

1.1.4.3. Листовые конструкции

[2], с. 173-177

Цилиндрические, каплевидные и сферические резервуары. Листовые конструкции металлургических цехов. Трубопроводы, их соединения и узлы. Метод рулонирования.

1.1.4.4. Каркасные сооружения

[2], с. 213-222

Сварные каркасы производственных и многоэтажных зданий. Поперечные рамы и арки. Системы покрытий. Связи каркасных сооружений.

1.1.4.5. Конструкции и сооружения смешанного типа

[2], с. 227-234

Кузов цельнометаллического вагона. Корпус судна. Стыки обшивки; узлы набора, переборок, надстроек.

1.2. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЛЕКЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНО-ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ (20 часов)

1. Преимущества сварных конструкций и их особенности. Задачи курса. Связь с другими дисциплинами4 часа
2. Типы сварных соединений и их характеристика4 часа
3. Методика испытаний и расчета сварных соединений на прочность...4 часа
4. Методика испытаний и расчета сварных соединений на выносливость...4 часа
5. Методика определения и способы снижения остаточных напряжений в сварных конструкциях.....4 часа

1.3. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ (16 часов)

1. Расчет сварных соединений по допускаемым напряжениям при статической и динамической нагрузках.....4 часа
2. Расчет сварных соединений по предельным состояниям при статических и динамических нагрузках.....4 часа
3. Расчет сварных балок по условиям жесткости и устойчивости, наибольшей экономии материала и устойчивости.....4 часа
4. Расчет элементов сварных конструкций с использованием ПК.....4 часа

1.4. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ (8 часов)

1. Определение средних напряжений, возникающих в сварных соединениях от внешних нагрузок.....2 часа
2. Определение местных напряжений в опасных сечениях сварных соединений (стыковых, товарных и внахлестку).....2 часа
3. Определение реактивных остаточных напряжений при сварке в закреплении.....2 часа
4. Определение продольных остаточных напряжений в стыковом соединении.....2 часа

1.5. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Конструирование и расчет балочных клеток.

2. ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Николаев Г. А., Винокуров В. А. Сварные конструкции: Расчет и

проектирование: Учебник для вузов (под редакцией Г.А. Николаева). - М.: Высшая школа, 1990.

Дополнительная

2. Серенко А.Н., Крумбольдт М.Н., Багрянский К. В. Расчет сварных соединений и конструкций: Примеры и задачи. - Киев, Вища школа, 1977.

3. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Определить допустимую осевую нагрузку для сварных соединений встык, впритык и с накладками, конструкция которых приведена на рис. 1.

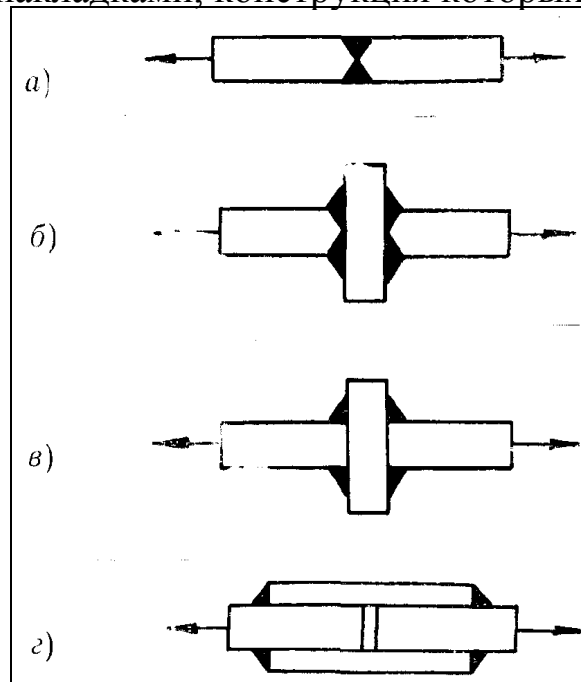


Рис. 1

Данные для расчета следует брать из таблицы 1. Толщина и ширина элемента выбирается студентом по предпоследней цифре шифра, а характеристика цикла, марки материала и тип электрода - по последней.

Таблица 1

Вариант	Размеры основных элементов, мм		Характеристика цикла, r	Марка материала	Тип электрода
	Толщина	Ширина			
1	10	300	-1	Ст. 3	Э-42
2	10	300	-0,8	"	"
3	12	350	-0,6	"	"
4	12	400	-0,4	"	"
5	16	400	-0,2	"	"
6	16	450	0	15XCHД	Э-50
7	20	500	0	"	"
8	20	500	-0,2	"	"
9	20	550	-0,4	"	"
10	20	600	-0,6	"	"

Необходимо:

- 1) определить допустимую нагрузку для указанных сварных соединений в случае действия статической нагрузки;
- 2) то же в случае действия вибрационной нагрузки;
- 3) определить размеры необходимых прокладок (по рис. 1, б и в) и накладок (по рис. 1, з), а также размеры сварных швов.

Коэффициент перегрузки принять равным $n = 1,4$. Характеристика основного металла и сварочных материалов принять по табл. 2 и 3.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Выполненное задание следует представить в виде пояснительной записки, в которой должно быть изложено содержание, приведены расчеты и чертежи узлов с указанием всех необходимых размеров для их выполнения. Чертеж узла выполняется в масштабе 1:5.

В правом нижнем углу чертежа нужно поместить штамп университета с указанием факультета, фамилии и инициалов студента, его шифра, даты выполнения чертежа и его наименования.

Пояснительная записка и чертеж должны быть студентом подписаны.

В соответствии с различными условиями работы конструкций следует выбирать и методы их расчета. В настоящее время существуют два основных метода расчета конструкций, сущность которых изложена ниже.

Расчет по допускаемым напряжениям

При расчете конструкций по допускаемым напряжениям условия прочности имеют вид

$$\sigma \leq [\sigma], \quad (1)$$

где σ - напряжение в опасном сечении элемента, МПа; $[\sigma]$ - допускаемое значение напряжений, МПа.

Для безопасности сооружения допускаемое напряжение должно составлять лишь некоторую часть от предела текучести (или, как это принято для хрупких материалов, от предела прочности):

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_3}, \quad (2)$$

где n_3 - коэффициент запаса.

Правильный выбор коэффициента запаса имеет такое же влияние на окончательный результат расчета, как и правильное определение величины и характера действующей нагрузки и определение напряжений в элементах конструкции. В связи с этим выбор норм допускаемых напряжений должен быть увязан в целом с методами применяемых расчетов. По-

этому для наиболее характерных типов конструкций, отличающихся по условиям работы и по принятым для них расчетным схемам, вырабатываются свои нормы допускаемых напряжений. Так, например, для строительных конструкций общего типа допускаемое напряжение в случае применения стали марки Ст. 3 составляет $[\sigma] = 160$ МПа. Для пролетных строений железнодорожных мостов для той же марки стали оно составляет $[\sigma] = 140$ МПа.

При этом значение допускаемых напряжений устанавливается только для основных напряжений, а величина местных напряжений (т.е. наибольших напряжений в месте концентрации, созданной изменением формы или условиями передачи нагрузки) не ограничивается нормой допускаемых напряжений.

Основные напряжения (характеризующие собой некоторое усреднение значения напряжений) вычисляются на основании общеизвестных допущений, принятых в формулах, установленных в сопротивлении материалов.

При действии осевых нагрузок напряжения вычисляются, исходя из предположения об их равномерном распределении, по формуле

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (3)$$

где P - осевое усилие, Н; F - площадь поперечного сечения элемента, см².

При расчете прочности сварных соединений допускаемое напряжение на металл шва принимается равным допускаемому напряжению на основной металл. При этом условие прочности для сварных стыковых соединений выполняется безусловно в том случае, если оно было удовлетворено при подборе размеров сечения основных соединяемых элементов. То же относится и к сварным тавровым соединениям, воспринимающим осевую силу или изгибающий момент, когда эти соединения выполнены с обеспечением провара по всей толщине соединяемых элементов. Это обусловлено тем, что при равных значениях допускаемых напряжений и расчетной площади поперечного сечения их расчетная несущая способность одинакова. В действительности площадь сечения по сварным швам даже несколько больше благодаря технологическим допускам, но последние при расчете на прочность не учитываются. Сварные тавровые соединения, осуществляемые угловыми швами, без разделки кромок и без обеспечения полного проплавления по всей толщине соединяемых элементов, могут быть при осевой нагрузке признаны равнопрочными основному металлу только в том случае, если катет их швов равен толщине соединяемого элемента. Это следует из того, что условия прочности сварных швов в их опасном сечении определяются допускаемыми напряжениями на срез, тогда как условие прочности в сечении по основному металлу определяется допускаемыми напряжениями на растяжение.

При этом условия прочности в сечении по шву выражаются следующим образом:

$$P = 2 \cdot 0,7ab[\tau], \quad (4)$$

где a — катет шва, мм; b — ширина элемента, мм; P — усилие, воспринимаемое соединением, Н.

Имея в виду, что $[\tau] = 0,7 [\sigma]$ и что условие прочности в сечении по основному металлу записывается в виде

$$P = \delta b [\sigma],$$

где δ — толщина элемента, можно установить, что при условии равнопрочности должно существовать следующее соотношение между толщиной соединяемого элемента и катетом шва:

$$a = \delta \frac{[\sigma]}{1,4[\tau]} = \delta.$$

При расчете соединений внахлестку предполагается, что все швы работают одинаково. Условие прочности записывается в виде

$$P = 0,7a \sum l [\tau],$$

где $\sum l$ — длина всех швов (при одинаковом значении их катетов), мм.

Метод расчета по допускаемым напряжениям достаточно прост, что является его основным достоинством. Недостатком его является то, что выбор допускаемых напряжений или установление коэффициента запаса производится без достаточно полного учета всех условия работы конструкций, связанных с особенностями действия различного рода нагрузок, с наличием возможных изменений свойств отдельных применяемых материалов и с другими условиями эксплуатации.

В связи с этим, за последние годы была разработана новая методика расчета конструкций, получившая название расчета по предельным состояниям. Эта методика введена в действие при проектировании всех строительных конструкций. Предполагается, что на основе обобщения необходимого опыта она будет постепенно распространена и на другие области производства.

Расчет по предельным состояниям

Предельным состоянием конструкции называется состояние, при котором она перестает удовлетворять предъявляемым эксплуатационным требованиям, т. е. перестает оказывать сопротивление внешним воздействиям или получает недопустимые деформации или местные повреждения.

Установлены следующие три расчетных предельных состояния:

- а) первое предельное состояние, определяемое несущей способностью элемента (прочностью, устойчивостью или выносливостью);
- б) второе предельное состояние, характеризующееся развитием чрезмерных деформаций;
- в) третье предельное состояние, характеризующееся образованием или раскрытием трещин.

Первое предельное состояние имеет отношение к расчету отдельных элементов сварных конструкций и к расчету сварных соединений. Второе

предельное состояние проверяется применительно ко всему сооружению в целом. Третье предельное состояние применяется главным образом к железобетонным конструкциям (при раскрытии трещин в растянутой зоне бетона).

При проектировании конструкций условие прочности по первому предельному состоянию записывается в следующем виде:

$$\frac{N}{F} \leq mR. \quad (5)$$

Здесь N - расчетное воздействие или наибольшая расчетная нагрузка (усилие или момент), Н; F - геометрическая характеристика сечения (площадь, момент сопротивления и т.п.), см²; R - расчетное сопротивление материала, МПа; m - коэффициент условий работы.

Наибольшая расчетная нагрузка определяется суммой произведений нормативной нагрузки данного вида (т.е. нагрузки нормальной интенсивности) на соответствующий коэффициент перегрузки:

$$N = N_1 n_1 + N_2 n_2 + N_3 n_3 + \dots = \sum N_i n_i, \quad (6)$$

где N_i - нормативная нагрузка; n_i - соответствующий ей коэффициент перегрузки.

Расчетное сопротивление материала R представляет собой произведение наименьшего опасного напряжения (при котором может наступить разрушение), именуемого нормативным сопротивлением R_H (для стали это предел текучести σ_s) на коэффициент однородности материала - k .

$$R = kR_H = k\sigma_s. \quad (7)$$

Коэффициент условий работы m учитывает своеобразие работы конструкций, обусловленное изготовлением и эксплуатацией. Он может учитывать опасность хрупких разрушений, неблагоприятное влияние агрессивной среды и других факторов.

Значения нормативных сопротивлений R_H (МПа) для основного металла принимаются в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Вид нагрузки	Марки стали					
	Ст.0	Ст.2	Ст.3 и Ст.4	Ст.5	НЛ1	НЛ2
Растяжение, изгиб, сжатие	190	220	240	280	300	340
Срез	115	130	145	165	180	205
Смятие торцевой поверхности	235	330	360	420	450	510
Диаметральное сжатие катков	7	8	9	10	11	12

Для сварных соединений, выполненных автоматической сваркой под флюсом или ручной сваркой с применением электродов типов Э-42 и Э-50 (см. табл. 3), нормативные сопротивления растяжению и сжатию принимаются равными нормативным сопротивлениям растяжению или сжатию прокатной стали свариваемой конструкции. Нормативные сопротивления срезу для металла сварных угловых швов принимаются равными нормативным сопротивлениям растяжению, умноженным на коэффициент 0,7.

Коэффициенты однородности металла сварных швов принимаются такими же, как и для основного металла.

Таблица 3

Марка электрода	Нижние пределы механических свойств					Назначение
	Металл шва		Сварное соединение			
	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Предел прочности, МПа	Ударная вязкость, МДж/м ²	Угол загиба, α°	
Э-42	420	18	420	0,08	120	Сварка конструкций из малоуглеродистой стали
Э-50	500	16	500	0,06	90	Сварка конструкций из низкоуглеродистой стали

С целью обеспечения высокого качества сварных стыковых соединений, выполненных ручным способом с применением электродов типов Э-42 и Э-50, рекомендуется применять контроль просвечиванием. Для случаев, когда контроль качества сварных стыковых швов осуществляется только наружным осмотром, коэффициенты однородности понижаются на 15%.

Принципиальное отличие метода расчета по предельным состояниям от метода по допускаемым напряжениям состоит в том, что при данном методе расчета общий коэффициент запаса прочности учитывается тремя коэффициентами: коэффициентом перегрузки n ; коэффициентом однородности k и коэффициентом условий работы m .

Более дифференцированный метод учета общего коэффициента запаса позволяет обоснованней подойти к его определению, учитывая своеобразие условия действия отдельных нагрузок, свойств различных материалов, а также различных условий работы конструкции.

Разделение одного коэффициента запаса на три независимых коэффициента позволяет более правильно характеризовать все особенности условия работы данной конструкции (учитывая отдельно особенности нагрузок, материала и условий эксплуатации). Так, например, коэффициент перегрузки n принят равным: от собственного веса и гидростатического давления - 1,1; от ветра - 1,2; от нагрузки в архивах и книгохранилищах - 1,2; от нагрузки в общежитиях—1,4 и т.п.

Коэффициент однородности материала k принят равным: для малоуглеродистой прокатной стали 0,9; для низколегированной прокатной ста-

ли 0,85; для отливок из углеродистой стали 0,75 и т.п.

Коэффициент условий работы m для большинства элементов конструкций принят равным 1; для резервуаров - 0,8; для колонн - 0,9.

И в старом, и в новом методе предполагается приближенное определение напряжений по формулам сопротивления материалов (исходя из предположения равномерного распределения напряжений при осевой нагрузке и гипотезы плоских сечений при изгибе).

В частном случае, когда все действующие на сооружение нагрузки характеризуются одним значением коэффициента перегрузки (или когда на сооружение действует только нагрузка одного вида), условие прочности (5) можно упростить. При этом

$$\frac{\sum N_i n_i}{F} = \frac{n \sum N_i}{F} = mk \sigma_s \quad (8)$$

или

$$\frac{\sum N_i}{F} = \frac{\sigma_i}{\frac{n}{mk}} = \frac{\sigma_s}{n_0}.$$

Как видно, в этом случае условие прочности (1), установленное методом расчета по допускаемым напряжениям, аналогично условию прочности (8), установленному методом расчета по предельным состояниям.

Таким образом, метод расчета по допускаемым напряжениям является частным случаем более общего метода расчета.

Расчет сварных соединений на выносливость

Расчет на выносливость производится при действии переменных (или вибрационных) нагрузок, характеризующихся большей повторяемостью (не менее 1000 раз). Расчет на выносливость сводится к определению прочности конструкций при действии таких переменных нагрузок.

Условие выносливости записывается в следующем виде:

при расчете по методу допускаемых напряжений

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq \gamma[\sigma]; \quad (9)$$

при расчете по методу предельных состояний

$$\frac{N}{F} \leq \gamma R, \quad (10)$$

где $\gamma = \frac{\sigma_{rk}}{\sigma_s}$ - коэффициент снижения напряжений при переменной нагрузке; σ_{rk} - предел выносливости элемента конструкций, МПа. Остальные обозначения те же, что в формулах (1) и (5).

Таким образом, для проведения расчета на выносливость необходимо знать соответствующее значение предела выносливости. Предел выносливости элемента конструкции зависит от характеристики цикла изме-

нения нагрузки, свойств примененного материала и формы самого элемента.

В аналитической форме связь между различными значениями пределов выносливости может быть, как это следует из прямолинейной диаграммы выносливости, выражена следующим образом:

$$\sigma_{rk} = \frac{2\sigma_{-1}}{\beta(1-r) + \psi(1+r)}. \quad (11)$$

Здесь σ_{rk} - предел выносливости образца при характеристике цикла r и данном концентраторе k , МПа; σ_{-1} - предел выносливости образца из основного металла при характеристике цикла $r = -1$; $r = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ - характеристика цикла, МПа; $\beta = \sigma_{-1} / \sigma_{\sigma_{-1},k}$ - эффективный коэффициент концентрации; $\sigma_{-1,r}$ - предел выносливости образца при характеристике цикла $r = -1$ и заданном концентраторе k , МПа; $\psi = \sigma_{-1} / \sigma_B$ - коэффициент, зависящий от свойств материала; σ_B - предел прочности материала, МПа.

По формуле (11) можно определять предел выносливости сварных соединений при любой характеристике цикла r , зная значение эффективного коэффициента концентрации β и характеристики свойств стали (в том числе, σ_B и ψ).

Коэффициент ψ определяется по экспериментальным данным. Для сталей различных марок его значения обычно принимаются следующими: для Ст. 3 $\psi = 0,34$; для НЛ-2 $\psi = 0,27$; для МК $\psi = 0,30$.

Надо заметить, что эти значения являются приближенными и в отдельных случаях могут меняться, так как значение предела выносливости для основного металла, определяемое по результатам испытания образцов с сохраненной прокатной поверхностью, зависит от состояния этой поверхности. А так как определенных требований по отношению к качеству поверхности проката пока еще не предъявляется, то существующий неизбежный разброс в значениях предела выносливости влияет и на точность определения коэффициента ψ .

Эффективный коэффициент концентрации β зависит главным образом от формы соединения. Его значения определяются экспериментальным путем и должны быть заданы для всех применяемых в конструкциях соединений (табл. 4).

Таблица 4

Расчетные сечения	Значения β
1	2
По основному металлу вдали от сварных швов	
Основной металл с прокатной коркой и с кромками после проката или механической обработки	1,0
То же, но с кромками, обработанными машинной газовой резкой	1,1
По сварным швам	
Стыковые швы	1,0
Угловые поперечные швы:	
при ручной сварке	3,0
при автоматической сварке	1,7
Угловые продольные швы	3,0
По основному металлу в местах перехода к сварным соединениям	
Основной металл в месте перехода к стыковому шву:	
при обработке места перехода наждачным кругом или фрезой без обработки места перехода	1,0
фрезой без обработки места перехода	1,4
Основной металл в месте перехода к поперечному угловому шву соединения внахлестку без механической обработки	3,0
Основной металл в соединениях с боковыми швами в местах перехода к швам	3,4
Основной металл вблизи диафрагм и ребер:	
при ручной сварке	1,6
при полуавтоматической сварке	1,3
при механической обработке мест перехода	1,0
Составные сечения, сваренные продольными швами при автоматической сварке	1,0
По основному металлу в местах перехода к другим элементам	
Фасонки, привариваемые к поясам балок встык при плавной криволинейной форме перехода к поясу, полном проваре этого места и механической его обработке	1,2
Фасонки, привариваемые впритык к стенкам балок элементов при плавной криволинейной форме перехода с полным	1,2
проваром швов и механической обработке перехода	2,5
Фасонки, привариваемые к поясам внахлестку	2,0
Полный обрыв поясов двутаврового сечения при:	
постепенном уменьшении к месту обрыва ширины и толщины полок	1,6
полном проваре стенки с поясом в зоне обрыва механической обработке места перехода	1,2

5. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Описание конструкции

Объектом проекта является рабочая площадка, предназначенная для размещения на ней оборудования и материалов, необходимых для обслуживания производственного процесса. Она состоит из настила, непосредственно воспринимающего расположенную на нем полезную нагрузку, и системы несущих балок, образующих балочную клетку, которая служит для передачи нагрузки через опорные колонны на фундамент.

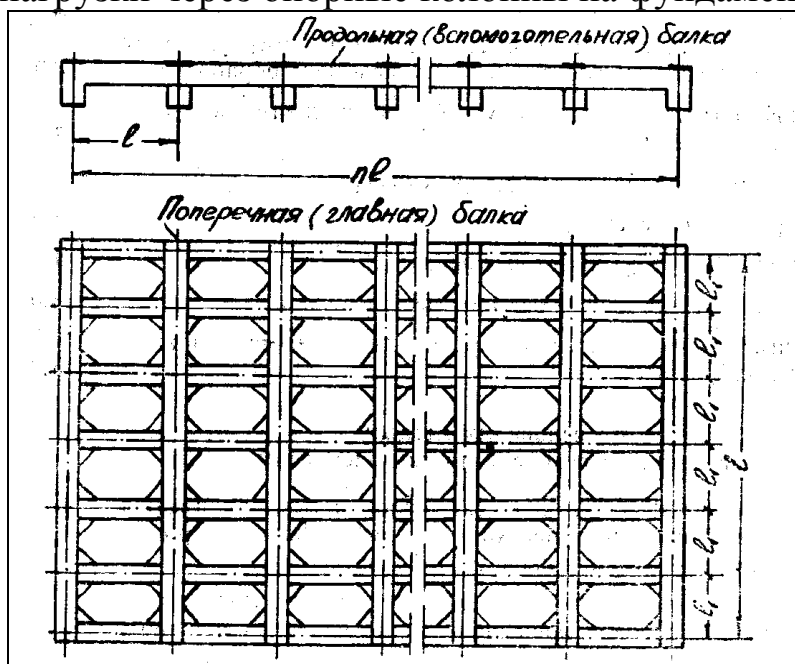


Рис. 2

Основной задачей проекта является конструирование и расчет балочной клетки (проектирование настила из состава задания исключается).

Схема балочной клетки рабочей площадки представлена на рис. 2. Балочная клетка состоит из пересекающихся под прямым углом балок, из которых поперечные балки пролетом L , передающие нагрузку на опорные колонны, являются главными, а продольные балки пролетом l , служащие для промежуточной передачи нагрузки с настила на главные балки, являются вспомогательными.

Состав задания

Расстояние между продольными балками l_1 выбирается по условиям прочности настила в соответствии с толщиной и свойствами его материала. Расстояние между главными балками l определяется с учетом расхода материала и производственных затрат на изготовление балок. По условиям настоящего проекта все эти размеры относятся к числу заданных.

В табл. 5 указаны значения генеральных размеров рабочей площадки

и нагрузки для различных вариантов заданий.

При выборе данных для расчета по предпоследней цифре шифра выбираются размеры балочной клетки, по последней - интенсивность нагрузки.

Таблица 5

Вариант	Размеры балочной клетки, м			Интенсивность нагрузки, кН/м ²	
	L	l	L_l	q	P
1	2	3	4	5	6
1	18	6	2,0	2	8
2	18	8	1,8	2	10
3	20	6	2,0	2	8
4	20	6	2,5	2	10
5	22	6	2,0	2	9
6	22	8	2,2	2	12
7	24	6	2,0	2	9
8	24	8	2,4	2	12
9	30	6	2,0	2	10
10	30	8	2,5	2	12

Нагрузка на балочную клетку состоит из некоторой равномерно-распределенной постоянной нагрузки интенсивностью q и переменной нагрузки от оборудования интенсивностью p . При проектировании необходимо предусмотреть возможность одновременного загрузения отдельных участков балочной клетки, при котором смежные пролеты продольных балок будут находиться в различных условиях.

Количество главных балок для всех вариантов заданий принято равным двадцати.

Технические условия на проектирование

Балки изготавливаются из стали, которая может быть выбрана из числа применяемых в строительстве марок: Ст. 3 и 15ХСНД. Вопрос о выборе марок стали определяется экономическими соображениями по расходу металла и его стоимости.

Коэффициент перегрузки для всех вариантов задания принят $n = 1,35$.

Расчетные сопротивления принимаются в соответствии с данными табл. 6.

Таблица 6

Марка стали	Предел прочности (МПа) не менее	Предел текучести (МПа) Не менее	Коэффициент однородности	Расчетные сопротивления, МПа		
				Растяжение	Срез	Смятие
1	2	3	4	5	6	7
Ст.3	380	240	0,90	210	130	320
15ХСНД	520	350	0,85	290	170	430

Наибольшая стрелка прогиба балок рабочей площадки не должна превышать следующих значений:

для главных балок $f_{\max} = (1/450)L$;

для вспомогательных балок $f_{\max} = (1/200)L$.

Проект представляется в виде пояснительной записки, в которой излагается расчет прочности, и чертежей (на двух листах), на которых изображается конструкция проектируемой балочной клетки.

На чертежах должны быть изображены схема балочной клетки с указанием отдельных монтажных единиц, рабочий чертеж главной балки, одного из монтажных элементов продольной балки, узел пересечения главной балки с продольными балками, выполняемый на монтаже. Все основные элементы должны быть представлены на чертежах не менее чем в трех проекциях с необходимыми дополнительными конструктивными пояснениями деталей сварных соединений. Для изображения общего вида элементов рекомендуется применять масштаб не менее 1 : 20, а для изображения узлов и деталей конструкции — не менее 1 : 10 и 1 : 2 (соответственно).

Чертежи должны иметь спецификацию с указанием всех отдельных деталей, их количества, марок материала и веса. В примечании к чертежу необходимо указать выбранные методы сварки и сварочные материалы, необходимые для выполнения швов.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Расчет конструкции необходимо начинать с составления расчетной схемы. Всю балочную клетку следует рассматривать как состоящую из отдельных балок, различающихся между собой по условиям опирания и нагружения. При этом можно составить две основные расчетные схемы: одну - для продольных вспомогательных балок и другую - для поперечных главных балок.

Расчет вспомогательных балок

Ввиду того, что продольные балки могут быть присоединены к поперечным так, что их поперечное сечение в месте крепления будет иметь возможность воспринимать не только перерезывающие силы, но и изгибающие моменты, расчетная схема для них может быть принята как для

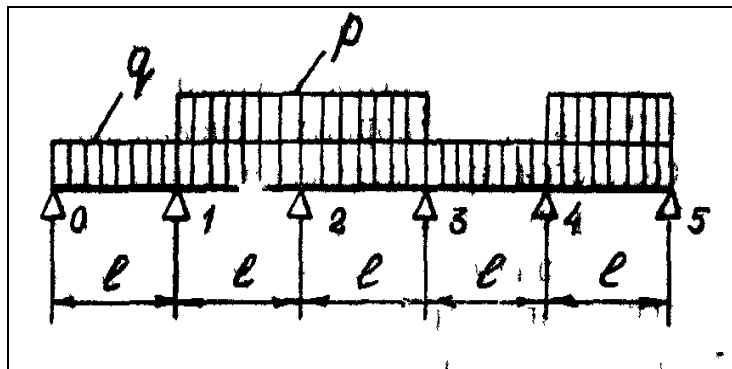


Рис. 3

неразрезной балки с числом опор, определяемых числом поперечных балок. Средние пролеты неразрезных балок, имеющих большое число пролетов, находятся в примерно равных условиях загрузки, поэтому расчетная схема продольной балки совпадает со схемой пятипролетной балки, при этом опорные реакции и изгибающие моменты для всех средних пролетов реальных балок можно рассчитать по третьему пролету пятипролетной неразрезной балки.

Таким образом, расчетная схема продольной балки может быть принята в соответствии с рис. 3, на котором отдельно указана постоянная нагрузка интенсивностью q и переменная нагрузка интенсивностью, p при одном из возможных вариантов загрузки балки.

При расчете должны быть рассмотрены различные варианты расположения переменной нагрузки и выбраны те, которые дают наиболее опасные комбинации загрузки.

Неразрезные балки являются статически неопределимыми. При их расчете в качестве статически неопределимых величин принимаются опорные моменты, для определения которых применяют теорему о трех моментах, известную из курса «Сопротивление материалов».

При расчете неразрезных балок часто пользуются также готовыми таблицами, в которых приведены вычисленные коэффициенты для определения изгибающих моментов и опорных реакций.

Для определения изгибающих моментов приведенные в табл. 7 значения коэффициентов необходимо умножить на произведение ql^2 или pl^2 .

По данным, приведенным в табл. 7, видно, что при действии переменной нагрузки наиболее опасные комбинации ее расположения для различных сечений и пролетов различны. Так, для сечений в пролете наиболее опасная комбинация создается, когда загружается рассматриваемый пролет, а остальные пролеты находятся в состоянии чередующейся разгрузки и загрузки. Для опорных сечений наиболее опасная комбинация создается при загрузке двух смежных пролетов и при условии чередующейся разгрузки и загрузки для всех остальных пролетов. Последняя комбинация создает также наибольшие опорные реакции. Значения коэффициентов для определения опорных реакций приведены в табл. 8.

Для определения опорных реакций коэффициенты, приведенные в табл. 8, необходимо умножить на произведение ql или pl .

Подбор сечений продольных балок целесообразно производить по значениям изгибающего момента в пролете, так как на опорах сечение может быть усилено постановкой фасонки. В этом случае надежность местного подкрепления должна быть проверена расчетом на действие опорного момента и перерезывающей силы.

Определение стрелки прогиба в пролетах неразрезной балки можно производить по формулам для свободно опертой балки на двух опорах, используя метод наложения.

Для продольных балок могут быть использованы прокатные двутавры.

Расчет главных балок

Главная балка нагружается в местах сопряжения с вспомогательными балками, которые передают на нее нагрузку в виде опорных реакций. По концам главная балка свободно опирается на колонны.

Таблица 7

Схема нагрузки	Для пролетных моментов			Для опорных моментов			
	m_1'	m_2'	m_3'	m_1	m_2	m_3	m_4
	0,100	-0,046	0,086	-0,053	-0,040	-0,040	-0,053
	-0,026	0,079	-0,040	-0,053	-0,040	-0,040	-0,053
	0,065	0,055	—	-0,119	-0,022	-0,049	-0,051
		0,052	0,060	-0,035	-0,111	-0,020	-0,057
	0,078	0,033	0,046	-0,105	-0,079	-0,079	-0,105

Таблица 8

Характеристика загрузки	a_0	a_1	a_2
При равномерно распределенной нагрузке по всем пролетам	0,395	1,132	0,974
При наиболее опасной комбинации загрузки отдельных пролетов	0,447	1,218	1,167

Таким образом, расчет главной балки производится как балки на двух опорах, нагруженной рядом сосредоточенных сил (рис. 5: а—расчетная схема главной балки; б—эпюра изгибающих моментов; в—эпюра перерезывающих сил).

При определении нагрузки на главную балку необходимо считаться с возможным наиболее опасным случаем расположения груза на площадке и принимать наибольшие возможные значения опорных реакций вспомогательных балок.

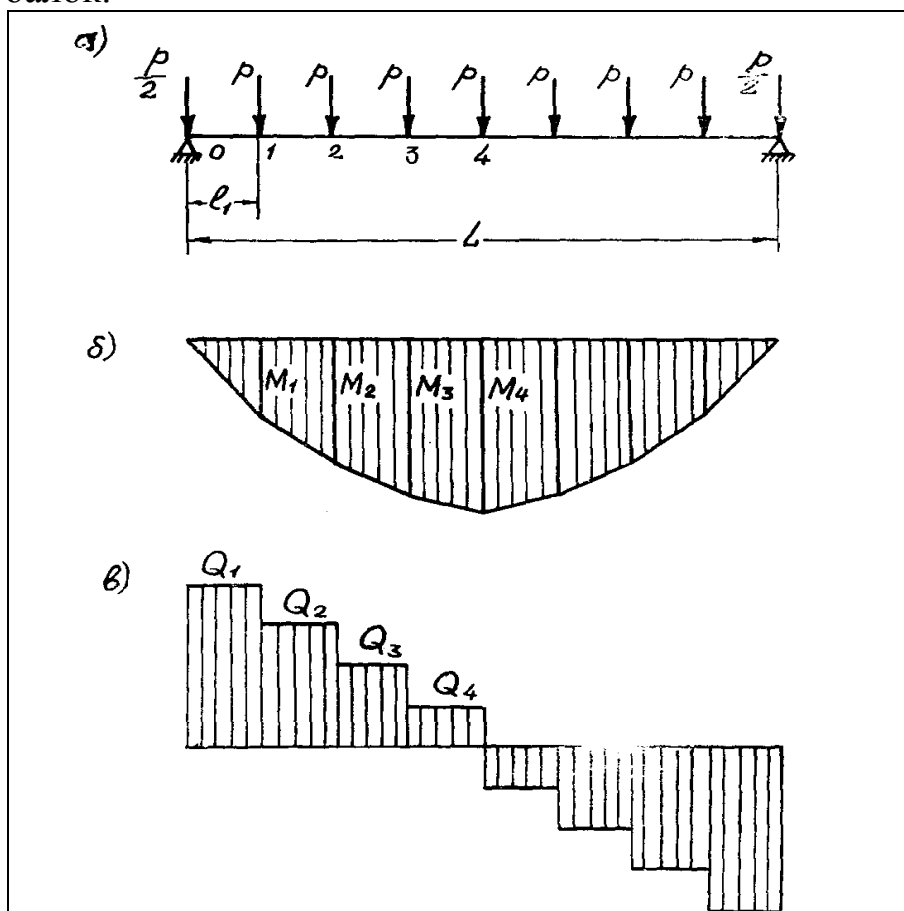


Рис. 4

Выбор высоты балки

Определение размеров сечения балки следует начинать с выбора ее высоты, являющейся одним из главных размеров ее поперечного сечения. Высоту вертикального листа выбирают исходя из условий обеспечения требуемой жесткости и наименьшего веса. Из этих двух условий первое является обязательным, так как оно определяется требованиями технических условий, а второе — только желательным, поэтому второе решение должно быть подчинено первому.

Условие обеспечения необходимой жесткости балок вытекает из заданных техническими условиями ограничения по прогибу.

Определение прогиба балки, нагруженной рядом сосредоточенных сил, с достаточным приближением можно производить по формуле, отно-

сящейся к случаю нагружения равномерно-распределенной нагрузкой. При этом высота вертикального листа выражается следующей формулой

$$h = \frac{5}{24} \cdot \frac{R}{nE} \cdot \frac{L^2}{f}, \quad (12)$$

где h - высота балки, м; R - расчетное сопротивление, МПа; n - коэффициент перегрузки; E - модуль упругости материала, Н/м²; L - пролет балки, м; f - стрелка прогиба в середине пролета, мм.

Полученное значение должно быть согласовано со вторым условием, по которому обеспечивается получение минимального веса.

Для балки переменного сечения оптимальное значение высоты вертикального листа определяется формулой

$$h = 1,3 \sqrt{\frac{M}{\delta R}}, \quad (13)$$

где M - изгибающий момент в середине пролета; δ - толщина вертикальной стенки, мм; R - расчетное сопротивление, МПа.

При определении оптимальной высоты вертикальной стенки по формуле (13) можно допускать отклонения от полученных значений в пределах $\pm 20\%$, так как это не вызывает повышения веса более чем на 2%, что соответствует степени точности, обычной для подобных расчетов.

Выбор толщины стенки

Для средней части балки толщина вертикального листа определяется величиной нормальных напряжений.

По условиям уменьшения веса толщину вертикального листа целесообразно принимать минимальной. При этом необходимо выполнять условие обеспечения ее местной устойчивости в зоне действия сжимающих напряжений. Условие устойчивости определяется по значению критических напряжений и применительно к бесконечно длинной прямоугольной свободно опертой пластинке, нагруженной нормальными напряжениями от изгибающего момента, будет иметь следующий вид:

$$\sigma_{кр} = 21,8E \left(\frac{\delta}{h} \right)^2 \geq \frac{R}{m}, \quad (14)$$

где $\sigma_{кр}$ - значение напряжений, при которых возможна потеря устойчивости, МПа; E - модуль упругости, Н/м²; δ - толщина вертикального листа, мм; R - расчетное сопротивление, МПа; m - коэффициент однородности материала.

Отсюда толщина вертикального листа может быть определена по следующему условию:

$$\delta \geq 0,214 h \sqrt{\frac{R}{mE}}. \quad (15)$$

Стремление уменьшить толщину вертикального листа приводит к применению дополнительных горизонтальных ребер жесткости, которые, уменьшая размеры сжатых участков пластинки, являются средством повышения устойчивости стенки.

В этом случае для крайнего участка вертикального листа, заключенного между поясом балки и горизонтальным ребром условия устойчивости, как и для пластики, находящейся под действием равномерно распределенных сжимающих напряжений, будет выражаться следующей зависимостью:

$$\sigma_{кр} = 3,63E \left(\frac{\delta}{b_2} \right)^2 \geq \frac{R}{m}, \quad (16)$$

где b_2 - расстояние между сжатым поясом и горизонтальным ребром, мм.

Отсюда аналогично предыдущему получим

$$\delta \geq 0,525b_2 \sqrt{\frac{R}{mE}}. \quad (17)$$

При выборе толщины вертикального листа следует иметь в виду, что по производственным и эксплуатационным условиям листы толщиной менее 6 мм для основных элементов конструкций не применяются.

Определение размеров сечения на опоре

В сечении на опоре размеры вертикальной стенки будут определяться условиями прочности и устойчивости при действии касательных напряжений, создаваемых перерезывающей силой.

Основное значение при этом имеет стенка, а пояса почти не принимают участия в работе. Если влиянием поясов пренебречь и считать касательные напряжения равномерно распределенными по площади сечения стенки, то формула для определения касательных напряжений будет иметь вид

$$\tau = \frac{Q}{\delta h}, \quad (18)$$

где Q - перерезывающая сила; δ и h - размеры вертикальной стенки, мм.

Условия устойчивости вертикального листа в районе опоры определяются как для прямоугольной пластинки, нагруженной по контуру касательными напряжениями, и выражаются формулой

$$\tau_{кр} \geq kE \left(\frac{\delta}{h} \right)^2 \geq \frac{R_s}{m}, \quad (19)$$

где R_s - расчетное сопротивление срезу, МПа; k - коэффициент, зависящий от отношения сторон опорного контура, значения которого приведены в табл. 9.

Таблица 9

a/h	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	∞
K	8,5	7,2	6,6	6,4	6,3	6,15	5,95	5,7	5,5	4,5

здесь a - расстояние между вертикальными ребрами жесткости, мм;

$$\tau_{кр} \geq \tau_s,$$

откуда

$$\delta \geq h \sqrt{\frac{R_s}{kmE}}. \quad (20)$$

Устойчивость вертикального листа на опоре может быть повышена более частым расположением вертикальных ребер жесткости, но более эффективной мерой подкрепления является постановка наклонного ребра жесткости, которое, будучи расположено по направлению действия сжимающих напряжений и принимая на себя их результирующее действие, будет предотвращать возможность появления деформации из плоскости вертикального листа.

Определение размеров поясов

Пояса двутавровых балок расположены в участках сечения с наибольшими нормальными напряжениями.

Для сечения в середине пролета по условиям прочности площадь сечения пояса двутавровой балки определяется формулой

$$F_{\max} = \frac{M_{\max}}{hR} - \frac{\delta h}{6}, \quad (21)$$

где $M_{\max}$ - наибольший изгибающий момент; R - расчетное сопротивление, МПа; δ и h - размеры вертикального листа, мм.

Исходя из полученного значения размеры площади поперечного сечения пояса должны быть определены с учетом условий устойчивости.

Критические напряжения прямоугольной пластинки, свободно опертой по трем сторонам, выражаются формулой

$$\sigma_{кр} = 0,385E \left(\frac{\delta_n}{b} \right)^2, \quad (22)$$

где δ_n - толщина пояса, мм; b - полуширина пояса, мм. Отсюда, аналогично предыдущему получим

$$\delta_n \geq 1,62b \sqrt{\frac{R}{E}}. \quad (23)$$

Изменение размеров сечения балки

Для экономии металла целесообразно изменять размеры сечения балки по пролету в соответствии с изменением значения изгибающего

момента. Изменение сечения достигается путем изменения размеров поясов и высоты вертикального листа.

Для балки на двух опорах с равномерно распределенной нагрузкой расстоянием $1/6L$ - определяется расположение стыка, при котором достигается наибольшая экономия веса. Для случая нагружения балки сосредоточенным грузом, приложенным в середине пролета, наиболее выгодное расположение стыка определяется расстоянием $1/4L$.

Положение других стыков следует определять в соответствии с размерами поясов, принятыми для промежуточных участков, при этом можно руководствоваться следующими ориентировочными соотношениями:

$$F_2 = \frac{F_{\max} + F_1}{2}; F_2 = \frac{F_1 + F_{\min}}{2},$$

где $F_{\min}$ - площадь сечения на опоре, которая выбирается по конструктивным соображениям, к числу которых можно отнести то, что размеры поперечного сечения пояса главной балки не должны быть меньше размеров поперечного сечения пояса вспомогательной балки.

Дополнительное снижение веса балки может быть достигнуто уменьшением высоты вертикального листа в районе опор. В этом случае начало изменения высоты надо располагать у вертикального ребра жесткости, чтобы получающийся перелом пояса не привел к тому, что крайние участки растянутого пояса в районе перелома не смогут принимать участия в работе.

Расчет сварных швов

Пояса балки должны быть соединены с вертикальной стенкой сварными швами, обеспечивающими условия совместной работы всех частей составного сечения. При этом поясные швы воспринимают касательные напряжения.

По условию прочности на срез катет шва будет определяться формулой

$$a = \frac{QS'}{1,4JR_{cp}}, \quad (24)$$

где R_{cp} - расчетное сопротивление срезу металла сварного шва, МПа.

В районе действия опорные реакции, а также других сосредоточенных вертикальных сил прочность сварных поясных швов должна быть проверена с учетом дополнительных напряжений, возникающих в швах. Действие сосредоточенной вертикальной силы распространяется на ограниченный участок сварного шва, длина которого приближенно равна

$$l_w = 30\delta,$$

где δ - толщина вертикального листа, мм.

Дополнительные напряжения в шве в районе действия опорной ре-

акции A будут:

$$\tau = \frac{A}{1,4a(l_{ш} + 2b)}, \quad (25)$$

где $2b$ - длина швов по опорным ребрам жесткости, мм.

Результирующие срезающие напряжения в сварном шве определяются геометрическим суммированием напряжений, возникающих от перерезывающей силы, и дополнительных напряжений в районе опорной реакции.

В тех случаях, когда дополнительные срезающие напряжения велики и вызываемое ими увеличение катета шва нежелательно, целесообразно на участке действия опорной реакции применить шов с разделкой кромок. Тогда отсутствие зазора между поясом и вертикальным листом исключит возможность появления в швах дополнительных срезающих напряжений и приведет только к появлению неопасных напряжений сжатия.

Прочность стыковых швов в поясах и стенке обеспечивается соответствующим выбором сварочных материалов, гарантирующих равнопрочность металла сварных швов основному металлу. Поэтому проверка прочности стыковых швов при статической нагрузке не производится.

Расчет ребер жесткости

Вертикальные ребра жесткости необходимо ставить в местах передачи сосредоточенных усилий. Ребра жесткости выполняются из полосового проката и устанавливаются симметрично по отношению к вертикальной стенке с двух ее сторон. Размеры их определяются эмпирическими формулами, которые в основном выражают условия их устойчивости. Для присоединения ребер жесткости к вертикальной стенке применяются швы минимальных калибров.

Ширина ребра выбирается в зависимости от его высоты по формуле

$$b = \frac{h}{30} + 40, \quad (26)$$

где b - ширина одного ребра, мм; h - высота ребра, мм.

В районе крепления ребра к поясу ширина ребра должна обеспечивать опирание пояса не менее чем на три четверти его ширины. При широких поясах последнее условие приводит к применению составных ребер с местными уширениями.

Толщина ребер выбирается в зависимости от его ширины по формуле

$$\delta \geq \frac{b}{15}. \quad (27)$$

Поверочные расчеты прочности

Ввиду того, что при подборе размеров различных сечений балки принимались некоторые упрощения и округления, в заключение необходимо произвести поверочный расчет для окончательного подтверждения правильности принятых решений.

Учитывая, что в отдельных участках балки одновременно действуют значительные нормальные и касательные напряжения, необходимо для этих участков произвести проверку прочности по главным напряжениям:

$$\sigma_{\text{эл}} = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2}. \quad (28)$$

Максимальные нормальные напряжения имеют место в середине пролета и в местах изменения сечений балки, тогда как касательные напряжения достигают наибольших значений в концевых частях балки. Поэтому наиболее опасным участком балки является сечение, расположенное в месте ближайшего к опоре стыка поясов.

Одновременное действие нормальных и касательных напряжений может оказаться более опасным и для устойчивости отдельных участков вертикального листа балки. В этом случае необходимо проверить коэффициент запаса на устойчивость по формуле

$$\frac{1}{n} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{\text{кр}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{\text{кр}}}\right)^2} + \frac{\tau\sigma}{6\tau_{\text{кр}}\sigma_{\text{кр}}}, \quad (29)$$

где σ и τ - нормальное и касательное напряжения в рассматриваемом участке вертикальной стенки, МПа; $\sigma_{\text{кр}}$ и $\tau_{\text{кр}}$ - критические значения напряжений в тех же участках, МПа.

Расчет узла пересечения балок

Расчет прочности прикрепления вспомогательной балки к главной необходимо проводить с учетом принятой конструкции местного подкрепления. В узлах пересечения балок обычно устанавливаются косынки, которые усиливают опорные сечения и обеспечивают жесткость узлов.

Длина участка, на котором необходимо подкрепление, может быть определена в соответствии с изменением изгибающего момента. Для случая, когда сечение неразрезной балки подбирается по наибольшему изгибающему моменту в пролете, необходимо применять местное подкрепление опорных участков на длине: $\Delta l = 0,043l$.

Проверку прочности сечения на действие опорного изгибающего момента необходимо проводить с учетом местных подкреплений. Так, для конструкции подкрепления, принятой на рис. 5, расчет можно провести в соответствии с табл. 10.

Момент инерции всего сечения относительно его оси, проходящей через центр тяжести,

$$J_x = \sum J' - y_0^2 \sum F, \quad (30)$$

где y_0 , $\sum F$, $\sum J'$ – характеристики сечения, определяемые по данным табл.10.

Таблица 10

№ п\п	Площадь сечения F , см ²	Расстояние от кромки y , см	Статический момент S , см ³	Момент инерции, см ⁴	
				Собственный J_0 , см ⁴	Переносный, $y^2 \cdot F$, см ⁴
1	$2F = 2\delta b_1$	y_1	$2F_1 y_1$	-	$y_1^2 \cdot 2F_1$
2	F_2	y_2	$F_2 y_2$	J_2	$y_2^2 \cdot F_2$
3	$F_3 = \delta_3 b_3$	y_3	$F_3 y_3$	$\frac{\delta_3 b_3^3}{12}$	$y_3^2 \cdot F_2$
Σ	$\sum F$	$y_0 = \frac{\sum S}{\sum F}$	$\sum S$	$\sum J'$	

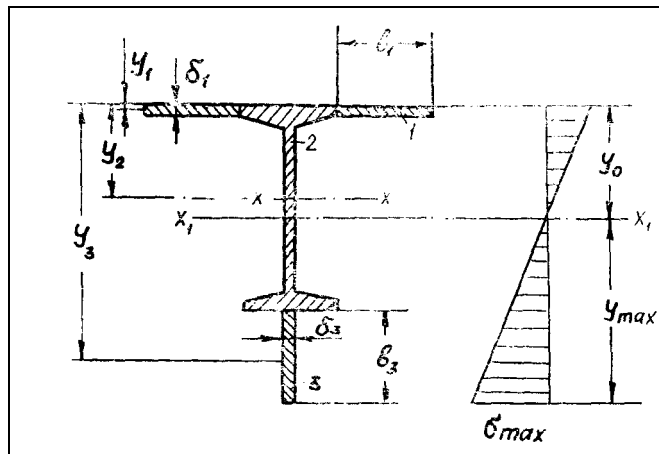


Рис. 5

Наибольшее нормальное напряжение

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{оп} \cdot y_{\max}}{J_x}. \quad (31)$$

Крепление продольной балки к главной должно обеспечивать равнопрочность сварных соединений по отдельным деталям сечения. В основных швах это условие обеспечивается выполнением сварки по всей толщине присоединенных элементов. Для угловых швов, расположенных на вертикальной стенке и ребре, необходимо чтобы было соблюдено условие равнопрочности в следующем виде:

$$1,4aR_{cp} = \delta R, \quad (32)$$

где a - катет углового шва; δ - толщина прикрепленного элемента, мм; R_{cp} - расчетное сопротивление на срез для металла шва, МПа; R - расчетное сопротивление на растяжение для основного металла, МПа.

Для швов, прикрепляющих нижний пояс прокатного двутавра к вертикальной стенке главной балки, необходимо считаться с ограничениями, установленными для предельных максимальных размеров угловых швов, которые выражаются в следующем виде:

$$a_{\max} = 1,5\delta_{\min}, \quad (33)$$

где $a_{\max}$ - наибольший допустимый размер катета углового шва; $\delta_{\min}$ - наименьшая толщина элементов таврового соединения, мм.

Технологические указания

Для современных условий проектирования характерно, что наряду с разработкой проекта сварной конструкции ведется разработка технологического процесса ее изготовления. Различия в технологии влияют на качество металла и форму сварных соединений, поэтому прочность сварной конструкции в значительной мере зависит от технологии ее изготовления.

При разработке проекта необходимо выбрать методы сборки и сварки, указать сварочные материалы, необходимые для обеспечения требуемых свойств сварных швов и соединений, предусмотреть меры, обеспечивающие изготовление сварной конструкции с заданной степенью точности, и определить последовательность сборки и сварки, при которой сварочные деформации и напряжения не будут оказывать вредного влияния на прочность.

При разработке принципиального технологического процесса необходимо предусмотреть возможность применения наиболее совершенных методов изготовления, позволяющих достигать высоких показателей не только по производительности, но и по качеству продукции. К числу таких методов следует отнести применение машинной газовой резки и автоматической сварки.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Содержание дисциплины	
1.1. Рабочая программа	4
1.2. Тематический план лекций для студентов очно-заочной формы обучения	8
1.3. Перечень тем практических занятий	8
1.4. Перечень лабораторных работ	8
1.5. Тематика курсовых проектов	8
2. Литература	8
3. Задание на контрольную работу	9
4. Методические указания к выполнению контрольной работы	10
5. Задание на курсовой проект	18
6. Методические указания к выполнению курсового проекта	20

**Сводный темплан 2003 г.
Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.97**

Редактор И.Н. Садчикова

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16

Б. кн.-журн.

П.л.

Б.л.

РТП РИО СЗТУ.

Тираж

Заказ

**Северо-Западный государственный заочный технический
университет**
РИО СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации вузов
Санкт-Петербурга
191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 5