

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Многопрофильный колледж

УТВЕРЖДАЮ:

директор

Многопрофильного колледжа

О.Б. Прохорова
«19» «~~август~~» 2024 Г.



МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по выполнению курсовой работы

МДК.02.01 Основы расчета и проектирования сварных конструкций

Основной профессиональной образовательной программы

15.02.19 «Сварочное производство»

г. Челябинск

2024

Методические рекомендации печатаются по решению Педагогического совета № 4, протокол №4 от «18» января 2024 г.

Автор – Ю.В. Безганс – старший преподаватель кафедры «Оборудование и технология сварочного производства»

Методические рекомендации по выполнению курсовой работы по МДК.02.01 Основы расчета и проектирования сварных конструкций основной профессиональной образовательной программы 15.02.19 Сварочное производство являются частью учебно-методического комплекса (УМК) по специальности.

Методические рекомендации предназначены для студентов специальности 15.02.19 Сварочное производство по подготовке к написанию курсовой работы по МДК.02.01 Основы расчета и проектирования сварных конструкций.

Методические рекомендации составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО.

Методические рекомендации адресованы студентам очной формы обучения.

3
Содержание.

Задания на курсовой проект.....	4
Методические указания к выполнению пояснительной записки и графической части курсового проекта.....	6
Пример выполнения курсового проекта на тему «Сварная балка».....	8
Раздел 1. Введение.....	11
Раздел 2. Расчётная часть.....	12
Раздел 3. Технологическая часть.....	20
Сборочный чертёж балки.....	22
Спецификация.....	23
Примечания автора к представленному курсовому проекту.....	24
Пример выполнения курсового проекта на тему «Сварная колонна».....	26
Раздел 1. Введение.....	29
Раздел 2. Расчётная часть.....	31
Раздел 3. Технологическая часть.....	41
Сборочный чертёж колонны.....	43
Спецификация.....	44
Примечания автора к представленному курсовому проекту.....	45
Приложение.....	49
Литература.....	53

1. Задания на курсовой проект.

- 1.1 Рассчитать и спроектировать сварную сплошностенчатую балку перекрытия объекта 1 класса ответственности, которая несёт равномерно распределённую нагрузку, складывающуюся из постоянной нагрузки p_{1n} с коэффициентом надёжности γ_{f1} и временной нагрузки p_{2n} с коэффициентом надёжности γ_{f2} . Строительный габарит для балки h_b , пролёт балки L , материал балки ВСт3пс.

Таблица 1. Исходные данные.

Вариант	p_{1n} , Кн/м	γ_{f1}	p_{2n} , Кн/м	γ_{f2}	h_b , м	L , м
1	11	1.2	145	1,2	1,2	9
2	16	1,1	140	1,3	1,3	10
3	14	1,1	170	1,4	1,4	12
4	18	1,2	130	1,5	1,5	9
5	22	1,05	140	1,1	1	10
6	16	1,1	135	1,2	1,1	12
7	6	1,15	150	1,4	1,2	9
8	18	1,2	160	1,3	1,3	10
9	12	1,05	120	1,1	1,4	12
10	14	1,1	128	1,4	1,5	9
11	14	1,15	135	1,5	1	10
12	22	1,2	140	1,6	1,1	12
13	10	1,05	160	1,3	1,2	9
14	21	1,1	170	1,2	1,3	10
15	17	1,15	180	1,1	1,4	12
16	9	1,2	145	1,3	1,5	9
17	13	1,05	135	1,2	1	10
18	6	1,1	128	1,15	1,1	12
19	14	1,15	130	1,25	1,2	9
20	8	1,12	140	1,32	1,3	10
21	11	1,05	150	1,41	1,4	12
22	15	1,1	142	1,23	1,5	9
23	18	1,15	138	1,38	1	10
24	12	1,2	150	1,4	1,1	12
25	14	1,14	140	1,2	1,2	9
26	16	1,1	128	1,3	1,3	10
27	18	1,05	130	1,25	1,4	12
28	24	1,12	135	1,15	1,5	9
29	21	1,15	128	1,3	1	10
30	19	1,2	116	1,13	1,1	12

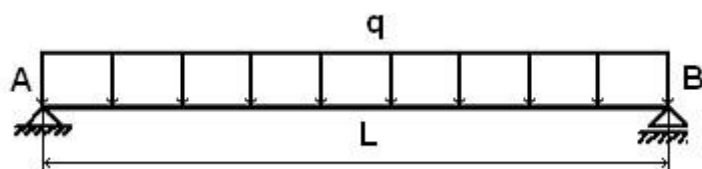


Рисунок 1. Расчётная схема балки.

1.2 Рассчитать и спроектировать сварную колонну высотой H для опирания двух балок перекрытия. Нагрузка на колонну F действует вдоль её оси; коэффициент, учитывающий способы крепления концов колонны μ ; материал всех элементов колонны сталь ВСт3пс.

Таблица 2.

Исходные данные.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F, \text{кН}$	2100	2200	2100	1800	1700	1900	2000	2300	1900	1800
$H, \text{м}$	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
M	1	0,7	0,7	0,7	1	1	1	0,7	1	1
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$F, \text{кН}$	2400	2150	2000	2200	2300	2250	2350	1950	1850	1750
$H, \text{м}$	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
M	1	0,7	1	0,7	1	0,7	1	0,7	1	0,7
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$F, \text{кН}$	2750	2650	2550	2450	2350	2250	2150	2050	1950	1850
$H, \text{м}$	9	9	9	9	9	6	6	6	6	6
M	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1	1	1	1	1

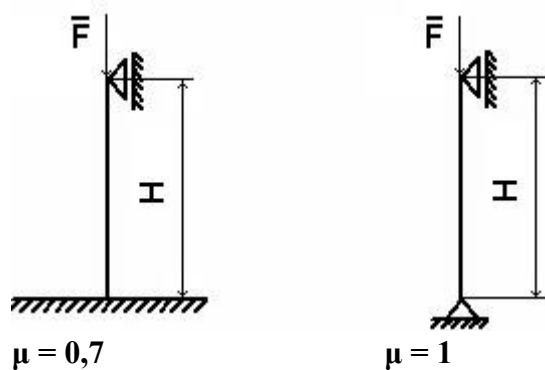


Рисунок 2. Расчётные схемы колонн.

2. Методические указания к выполнению пояснительной записки и графической части курсового проекта.

2.1 Оформление пояснительной записки.

Пояснительная записка является текстовым конструкторским документом и оформляется в соответствии с ГОСТ 2.105 – 95.

Первым листом записки является задание на проектирование, выданное преподавателем и утверждённое председателем цикловой методической комиссии профессиональных дисциплин специальности 15.02.19. и заведующим отделением. За ним следует лист «Содержание» с основной надписью, выполненной по форме №2. Последующие листы содержат основную надпись по форме №2а.

Пояснительную записку следует писать чёрными чернилами (чёрной пастой) чётко, аккуратно, грамотно на стандартных листах нелинованной писчей бумаги формата А4 с рамкой, отступая слева 20 мм, а с остальных сторон по 5 мм. Текст пишется на одной стороне листа. В тексте не допускаются помарки, исправления и нестандартные сокращения слов.

Пояснительная записка должна быть сброшюрована в папку. Титульный лист выдаётся преподавателем.

Содержание записки надо разделить на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами (1,2,3...). Каждый раздел необходимо начинать с нового листа. Подразделы должны иметь номера, состоящие из номера раздела и номера подраздела (1,1; 1,2; 2,1...). Подразделы пишутся последовательно (не с нового листа каждый). Наименования разделов и подразделов должны быть краткими, соответствовать содержанию и записываться в виде заголовка более крупным шрифтом.

Расстояние между заголовками и последующим текстом следует принять 10 мм.

Все расчёты следует сопровождать иллюстрациями: схемами, эскизами, эпюрами с указанием расчётных размеров. Иллюстрации выполняются чёрным цветом, помещаются в разрывах текста записки и нумеруются (Рисунок 1; Рисунок 2 и т. д.) с указанием названия. Значения коэффициентов и символов, входящих в расчётные формулы, должны быть приведены непосредственно под формулой с обоснованием выбора их величин и ссылкой на источник (ГОСТ, справочная литература и т. п.) с указанием страниц, или таблиц этого источника.

Последним листом записки должен быть лист «Литература» с перечислением источников, расположенных в алфавитном порядке фамилий их авторов, с указанием издательств и года выпуска.

2.2. Наименование разделов и подразделов пояснительной записки.

Для сварной балки.

Для сварной колонны.

Раздел 1. Введение	Раздел 1. Введение.
Раздел 2. Расчётная часть.	Раздел 2. Расчётная часть.
2.1. Определение нагрузки на балку.	2.1. Проектирование стержня сплошной колонны.
2.2. Определение размеров поперечного сечения балки.	2.2 Проектирование стержня сквозной колонны. 2.3.
Проверка балки на прочность.	2.3. Сравнение вариантов и выбор конструкции стержня колонны.
2.4. Изменение поперечного сечения балки.	2.4. Расчёт и конструирование базы колонны.
2.5. Проверка прочности изменённого поперечного сечения балки.	2.5. Конструирование оголовка колонны
2.6. Устойчивость балки и её элементов.	Раздел 2.6. Расчёт сварных швов.
2.7. Конструирование рёбер жёсткости.	2.7. Проверка прочности расчётного сопротивления бетона.
3. Технологическая часть.	Раздел 3. Технологическая часть.

2.3. Содержание разделов пояснительной записки.

Раздел 1. Введение должен содержать краткое описание существующих видов проектируемой сварной конструкции (балок или колонн). Материал для написания этого раздела рекомендуется взять из учебников:

Пояркова, Е. В. Прочность сварных конструкций : учебное пособие / Е. В. Пояркова, Л. С. Диньмухаметова, Ж. Г. Калеева. — 2-е изд. — Москва : ФЛИНТА, 2017. — 223 с. — ISBN 978-5-9765-3386-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/97105>

Бартенев, И. Расчет и проектирование сварных конструкций : учебник / И. Бартенев, В. Боченин, С. Чернова. — 3-е изд., стер. — Нур-Султан : Фолиант, 2019. — 136 с. — ISBN 978-601-338-358-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/141656>

Раздел 2. Расчётная часть должен содержать все необходимые расчёты и выводы, связанные с заданной темой проекта и содержанием подраздела.

Раздел 3. Технологическая часть должен содержать анализ технологичности проектируемой конструкции, краткое описание технологии её сборки и сварки с указанием способов сварки, вспомогательных материалов, применяемого сборочного и сварочного оборудования, режимов сварки, способами контроля.

2.4. Методические указания к выполнению графической части курсового проекта.

Графическая часть курсового проекта содержит сборочный чертёж сварной конструкции, выполненный на листе чертёжной бумаги формата А1 по правилам ЕСКД. На сборочном чертеже должен быть выполнен общий вид сварной конструкции со всеми необходимыми разрезами и сечениями. На сборочном чертеже должны быть проставлены габаритные, установочные и присоединительные размеры, а также обозначены все сварные швы. Все составные части сварной конструкции должны быть отмечены позициями. К сборочному чертежу должна быть приложена спецификация.

3. Примеры выполнения курсового проекта.

Далее приведены примеры выполнения курсовых проектов студентами

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Многопрофильный колледж**

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по профессиональному модулю ПМ02 «Разработка технологических процессов и проектирования изделий»,
МДК02.01 «Основы расчёта и проектирования сварных конструкций».

*На тему «Расчитать и спроектировать сварную сплошностенчатую балку перекрытия
объекта 1 класса ответственности».*

Студента группы

Специальность 15.02.19 «Сварочное производство»

Руководитель

К защите допущен

Челябинск

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Многопрофильный колледж**

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

«__» _____ 20__ г.

«__» _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

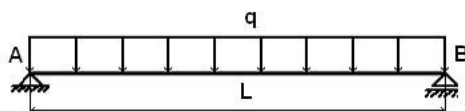
на выполнение курсового проекта по профессиональному модулю ПМ02 «Разработка технологических процессов и проектирование изделий», МДК02.01 «Основы расчёта и проектирования сварных конструкций»

Студенту**Специальность № 15.02.19 «Сварочное производство»**

Тема проекта: «Расчитать и спроектировать сварную сплошностенчатую балку перекрытия объекта 1 класса ответственности».

Исходные данные:

Постоянная составляющая нагрузки $p_{1n} = 18 \text{ кН/м}$
 Коэффициент надёжности $\gamma_{f1} = 1,05$
 Временная составляющая нагрузки $p_{2n} = 130 \text{ кН/м}$
 Коэффициент надёжности $\gamma_{f2} = 1,2$
 Строительный габарит $h_0 = 1,3 \text{ м}$
 Пролёт балки $L = 12 \text{ м}$
 Материал балки сталь ВСт3пс



Расчётная схема балки.

Пояснительная записка.Раздел 1. Введение.Раздел 2. Расчётная часть.

- 2.1. Определение нагрузки на балку.
- 2.2. Определение размеров поперечного сечения балки.
- 2.3. Проверка балки на прочность.
- 2.4. Изменение сечения балки.
- 2.5. Проверка прочности изменённого сечения балки
- 2.6. Устойчивость балки и её элементов.
- 2.7. Рёбра жёсткости.

Раздел 3. Технологическая часть.

- 3.1. Анализ технологичности.
- 3.2. Технология сборки и сварки.
- 3.3. Применяемое оборудование.

**Графическая часть. Лист 1. Сборочный чертёж балки. Формат
А1**

Дата выдачи задания

Срок окончания выполнения проекта

Дата защиты проекта

Руководитель

Раздел 1. Введение.

Балка представляет собой элемент каркаса промышленного здания, предназначенный для работы на поперечный изгиб. Сварные балки применяются в тех случаях, когда условиям прочности, жёсткости и устойчивости не удовлетворяют балки стандартного фасонного профиля (двутаврового, или швеллерного). Чаще всего применяются сварные балки, полученные сваркой трёх листов двутаврового поперечного сечения. Вертикальный лист с размерами h_w и t_w называется стенкой, а два горизонтальных листа с размерами b_f и t_f – поясами (рисунок 1).

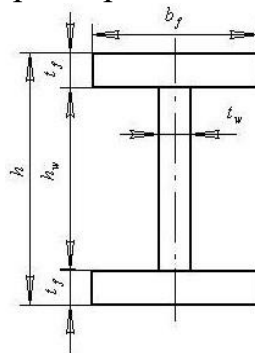


Рисунок 1. Поперечное сечение балки, состоящее из 3 листов.

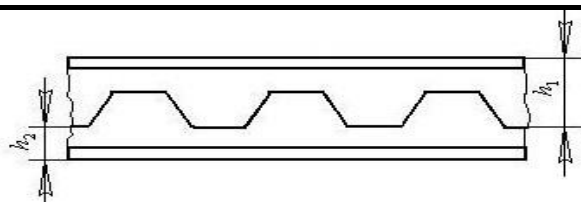
В том случае, если и эта сварная балка не будет удовлетворять условиям прочности, жёсткости и устойчивости, применяют сварные балки усиленного поперечного сечения. К таким балкам относятся балки с четырьмя поясами, или двумя стенками (рисунок 2).



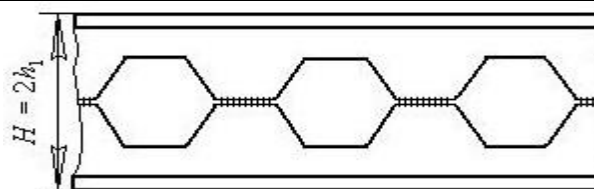
**Рисунок 2. Сварные балки усиленного поперечного сечения.
а) с двумя стенками; б) с четырьмя поясами.**

В настоящее время всё более применяют сквозные (перфорированные) двутавровые балки. Роспуск стенки горячекатаного двутавра по ломаной линии с последующим совмещением и сваркой выступающих гребней обеспечивают получение элемента двутаврового сечения с шестиугольными отверстиями, напоминающие пчелиные соты. Иногда такие балки называют «сотовыми».

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



После роспуска двутавра.



После совмещения и сварки.

Рисунок 3. Перфорированная (сотовая) двутавровая балка.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Раздел 2. Расчетная часть.

2.1. Определение нагрузки на балку.

Определяем расчётное значение нагрузки на балку, составляем её расчётную схему, строим эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. $q \approx p_{1n} \cdot \gamma_{f1} +$

$$q = p_{1n} \cdot \gamma_{f1} + p_{2n} \cdot \gamma_{f2} = 18 \cdot 1.05 + 130 \cdot 1.2 = 174.9 \text{ кН/м}$$

Определяем максимальные значения поперечной силы и изгибающего момента.

$$Q_{\max} = \frac{ql}{2} = \frac{174.9 \cdot 12}{2} = 1049.4 \text{ кН} \quad M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{174.9 \cdot 12^2}{8} = 3148.2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Максимальная поперечная сила действует на опорах балки, а максимальный изгибающий момент - по середине пролёта балки.

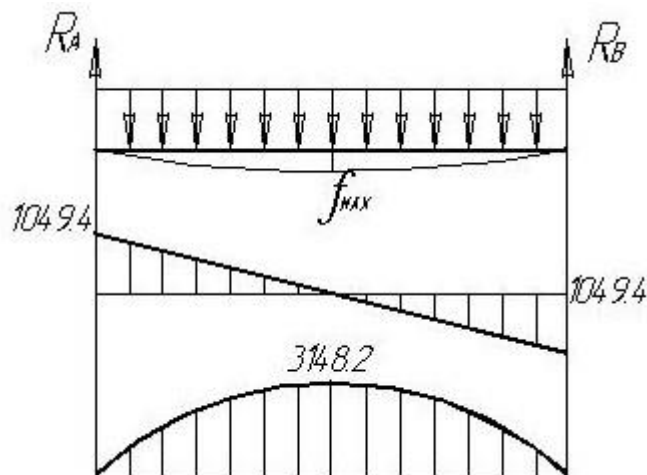


Рисунок 3. Расчётная схема балки и эпюры Q_y

и M_y . 2.2. Определение размеров поперечного сечения балки.

Определяем требуемый момент сопротивления изгибу поперечного сечения балки. В целях экономии материала проектируем балку переменного поперечного сечения по длине и, поэтому развитие пластических деформаций можно

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

допустить только по середине её пролёта, где действует максимальный изгибающий момент.

$$W_x = \frac{M_{\max}}{c_1 \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{3148.2 \cdot 10^6}{1.1 \cdot 215 \cdot 1} = 133 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$$

$c_1 = 1.1$ – коэффициент безопасности.

$\gamma_c = 1$ – коэффициент надёжности.

$R_y = 215 \text{ Н / мм}^2$ – расчётное сопротивление стали.

Определяем высоту поперечного сечения балки.

$$h = \frac{5 \cdot R_y \cdot l^2 \cdot q_n}{24 \cdot E \cdot f_u \cdot q} = \frac{5 \cdot 215 \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot 400 \cdot 148}{24 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 174.9} = 910 \text{ мм, где}$$

$$\frac{f_u}{l} = \frac{1}{400} \text{ – отношение максимального прогиба к пролёту балки.}$$

Для балок высотой поперечного сечения до 3м. Рациональное значение толщины стенки.

$$t_w = 7 + \frac{3 \cdot h}{1000} = 7 + \frac{3 \cdot 910}{1000} = 10 \text{ мм.}$$

Определяем оптимальную высоту поперечного сечения балки.

$$h_{opt} = k \sqrt{\frac{W_x}{t_w}} = 1.1 \sqrt{\frac{133000000}{10}} = 1268.6 \text{ мм, где } k = 1.1 - 1.15.$$

Принимаем окончательную высоту поперечного сечения балки 1300 мм, что больше минимальной и почти не отличается от оптимальной высоты, а также не выходит за рамки заданного строительного габарита.

Определяем толщину стенки поперечного сечения балки.

Из условия прочности на срез:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист

Из условия прочности на срез:

$$t_w = \frac{3 \cdot Q_{\max}}{2 \cdot h \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{3 \cdot 1049.4 \cdot 10^3}{2 \cdot 1300 \cdot 130 \cdot 1} = 9.31 \text{ мм, где}$$

$R_s = 0.58 R_{yn} = 0.58 \cdot 225 = 130 \text{ Н / мм}^2$ – расчётное сопротивление на срез;

$R_{yn} = 225 \text{ Н / мм}^2$ – расчётное сопротивление с учётом пластических деформаций.

$\gamma_c = 1$ – коэффициент надёжности.

Из условия местной устойчивости:

$$t_w = \frac{h}{6} \sqrt{\frac{R_{yn}}{E}} = \frac{1300}{6} \sqrt{\frac{225}{2 \cdot 10^5}} = 7.2 \text{ мм.}$$

Сравнивая полученные два значения толщины стенки, окончательно принимаем с учётом сортамента (таблица 3) $t_w = 10 \text{ мм}$.

Определяем размеры поясных листов.

Требуемая площадь сечения пояса:

$$A_f = \frac{W_x}{h} - \frac{t_w \cdot h}{6} = \frac{13300000}{1300} - \frac{10 \cdot 1300}{6} = 8064 \text{ мм}^2$$

Согласно сортаменту на листовый прокат (таблица 3) назначаем высоту стенки балки $h_w = 1250 \text{ мм}$, тогда толщина каждого поясного листа:

$$t_f = \frac{h - h_w}{2} = \frac{1300 - 1250}{2} = 25 \text{ мм}$$

и требуемая ширина поясного листа:

$$b_f = \frac{A_f}{t_f} = \frac{8064}{25} = 323 \text{ мм.}$$

Согласно сортаменту на листовый прокат (таблица 3) принимаем с некоторым запасом листы с размерами $b_f = 400 \text{ мм}$ и $t_f = 25 \text{ мм}$.

Подобранное поперечное сечение балки требует конструкторской проверки.

Необходимо, чтобы: $t_f < 3t_w$ $25 < 30$, а также: $b_f / h = (0.2 \dots 0.33)$ $400 / 1300 = 0.307$.

Подобранные размеры отвечают условиям конструкторской проверки.

Для окончательного утверждения принятых размеров поперечного сечения балки необходимо проверить местную устойчивость сжатого верхнего пояса.

Её обеспечивают следующие соотношения:

$$\frac{h_w}{t_w} > 2.7 \sqrt{\frac{E}{R_y}}, \text{ то } \frac{b_f - t_w}{2t_f} < 0.11 \frac{h_w}{t_w} < 0.5 \sqrt{\frac{E}{R_y}}$$

$$\frac{1250}{10} = 125 > 2.7 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{215}} = 83.6 \quad \frac{400 - 10}{2 \cdot 25} = 7.8 < 0.11 \frac{1250}{10} = 13.75 < 0.5 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{215}} = 15.5$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

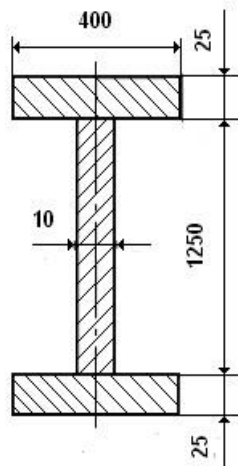


Рисунок 4. Поперечное сечение балки.

2.3. Проверка балки на прочность.

По назначенным размерам поперечного сечения балки определяем следующие геометрические характеристики:

площадь сечения $A = A_w + 2A_f = t_w h_w + 2b_f t_f = 10 \cdot 1250 + 2 \cdot 400 \cdot 25 = 32500 \text{ мм}^2$

статический момент площади половины поперечного сечения относительно нейтральной оси X

$$S_x = \frac{b_f t_f (h - t_f)}{2} + \frac{t_w h_w^2}{8} = \frac{400 \cdot 25 (1300 - 25)}{2} + \frac{10 \cdot 1250^2}{8} = 8330000 \text{ мм}^3$$

момент инерции поперечного сечения относительно нейтральной оси X

$$I_x = \frac{t_w h_w^3}{12} + 2b_f t_f \frac{(h - t_f)^2}{4} = \frac{10 \cdot 1250^3}{12} + 2 \cdot 400 \cdot 25 \frac{(1300 - 25)^2}{4} = 976 \cdot 10^7 \text{ мм}^4$$

момент сопротивления поперечного сечения относительно нейтральной оси X

$$W_x = \frac{2I_x}{h} = \frac{2 \cdot 976 \cdot 10^7}{1300} = 15 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$$

Определяем вес одного метра балки и уточняем расчётные усилия:

нормативный вес одного метра $q_{bn} = p \cdot A \cdot g = 7850 \cdot 325 \cdot 10^{-4} \cdot 9.81 = 2500 \text{ Н/м}$, где

$p = 7850 \text{ кг/м}^3$ – плотность стали

Суммарная расчётная нагрузка с учётом веса

$$q = q + q_{bn} = 174.9 + 2.5 \cdot 1.05 = 178 \text{ кН/м},$$

$$Q_{\max} = \frac{ql}{2} = \frac{178 \cdot 12}{2} = 1068 \text{ кН} \quad M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{178 \cdot 12^2}{8} = 3204 \text{ кНм}$$

Проверяем прочность балки:

по нормальным напряжениям

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{c_1 \cdot W_x} = \frac{3204 \cdot 10^6}{1.09 \cdot 15 \cdot 10^6} = 196 \text{ Н/мм}^2 < R_y = 215 \text{ Н/мм}^2, \text{ где}$$

$c = 1.09$ – коэффициент, зависящий от отношения $A_f / A_w = 25 \cdot 400 / 10 \cdot 1250 = 0.8$

(таблица 5)

по касательным напряжениям

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_x}{I_x \cdot t_w} = \frac{1068 \cdot 10^3 \cdot 833 \cdot 10^4}{976 \cdot 10^7 \cdot 10} = 91 \text{ Н/мм}^2 < R_s = 130 \text{ Н/мм}^2$$

Прочность балки по нормальным и касательным напряжениям обеспечена.

2.4. Изменение сечения балки.

Так как нагрузка на балку неравномерна, целесообразно спроектированное поперечное сечение балки выполнять не по всей её длине. На концах балки поперечное сечение выполняем уменьшенным. Рекомендуется ширину уменьшенного пояса принимать в два раза меньшим по сравнению с определённым ранее значением, но не менее 180 мм, в нашем случае:

$$b_f = 400 / 2 = 200 \text{ мм.}$$

Тогда момент инерции уменьшенного сечения относительно нейтральной оси X будет:

$$I_x = \frac{t_w h_w^3}{12} + 2 \left[\frac{b_f t_f^3}{12} + \frac{(h - t_f)^2 \cdot b_f t_f}{4} \right] = \frac{10 \cdot 1250^3}{12} + 2 \left[\frac{200 \cdot 25^3}{12} + \frac{(1300 - 25)^2 \cdot 200 \cdot 25}{4} \right] = 569 \cdot 10^7 \text{ мм}^4$$

Момент сопротивления уменьшенного сечения относительно нейтральной оси X будет:

$$W_x = \frac{2I_x}{h} = \frac{2 \cdot 569 \cdot 10^7}{1300} = 8.75 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$$

Вычисляем предельный изгибающий момент, который может быть воспринят уменьшенным сечением балки без пластических деформаций:

$$M_u = R_{wy} \cdot W_x = 180 \cdot 8.75 \cdot 10^6 = 1575 \cdot 10^6 \text{ Нмм} = 1575 \text{ кНм,}$$

$$\text{где } R_{wy} = 0.85 \cdot R_y = 0.85 \cdot 215 = 180 \text{ Н / мм}^2$$

составляем аналитическое выражение изгибающего момента и приравняем его к M_u :

$$\frac{qlz}{2} - \frac{qz^2}{2} = 1575, \quad qlz - qz^2 = 3150 \quad z^2 - lz + \frac{3150}{q} = 0$$

$$z_{1,2} = \frac{l}{2} \pm \sqrt{\frac{l^2}{4} - \frac{3150}{q}} = \frac{12}{2} \pm \sqrt{\frac{12^2}{4} - \frac{3150}{178}} = 6 \pm 4.28, \quad z_1 = 10.3 \text{ м} \quad z_2 = 1.7 \text{ м}$$

2.5. Проверка прочности изменённого сечения балки.

Проверяем прочность изменённого сечения балки по касательным напряжениям на опорах:

Статический момент половины изменённого сечения балки относительно нейтральной оси X

$$S_x = \frac{b_f t_f (h - t_f)}{2} + \frac{t_w h_w^2}{8} = \frac{200 \cdot 25 (1300 - 25)}{2} + \frac{10 \cdot 1250^2}{8} = 514 \cdot 10^4 \text{ мм}^3$$

Максимальные касательные напряжения

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_x}{I_x \cdot t_w} = \frac{1068 \cdot 10^3 \cdot 514 \cdot 10^4}{569 \cdot 10^7 \cdot 10} = 96 \text{ Н / мм}^2 < R_s = 130 \text{ Н / мм}^2 - \text{прочность обеспечена.}$$

По приведённым напряжениям:

Нормальные напряжения на уровне поясных швов:

$$\sigma = \frac{R_{wy} h_w}{h} = \frac{180 \cdot 1250}{1300} = 173 \text{ Н / мм}^2$$

					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Поперечная сила на расстоянии от опоры $z = 1.7 м$:

$$Q = q \left(\frac{l}{2} - z \right) = 178 \left(\frac{12}{2} - 1.7 \right) = 765 \text{ Кн}$$

Статический момент площади сечения пояса относительно нейтральной оси X:

$$S_f = \frac{A_f h_f}{2} = \frac{200 \cdot 25(1300 - 25)}{2} = 319 \cdot 10^4 \text{ мм}^3$$

Касательные напряжения на уровне пояса:

$$\tau = \frac{QS_f}{I_x t_w} = \frac{765 \cdot 10^3 \cdot 319 \cdot 10^4}{569 \cdot 10^7 \cdot 10} = 43 \text{ Н / мм}^2$$

приведённые напряжения $\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{173^2 + 3 \cdot 43^2} = 188 \text{ Н / мм}^2 < \beta \cdot R_y$

$\beta = 1.15$ – коэффициент, учитывающий развитие пластических деформаций.

Прочность по приведённым напряжениям обеспечена.

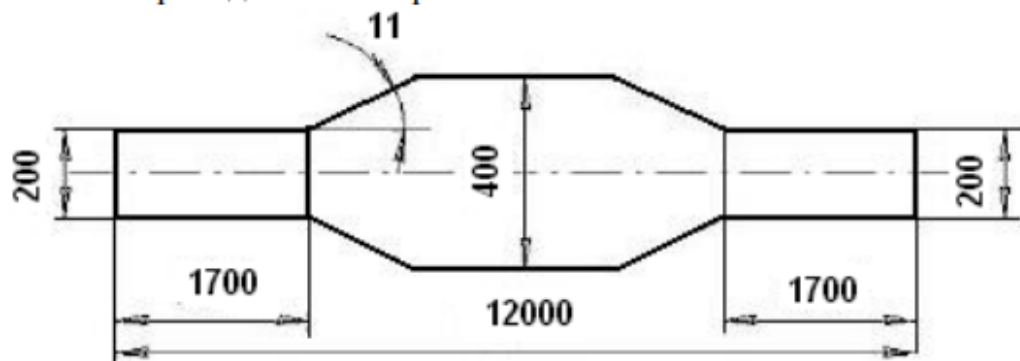


Рисунок 5. Конструкция пояса балки.

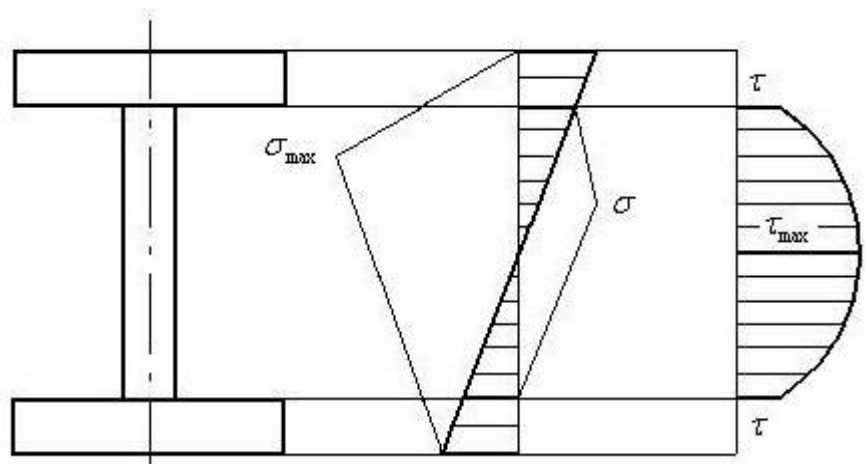


Рисунок 6. Эпюры нормальных и касательных напряжений.

2.6. Устойчивость балки и её элементов.

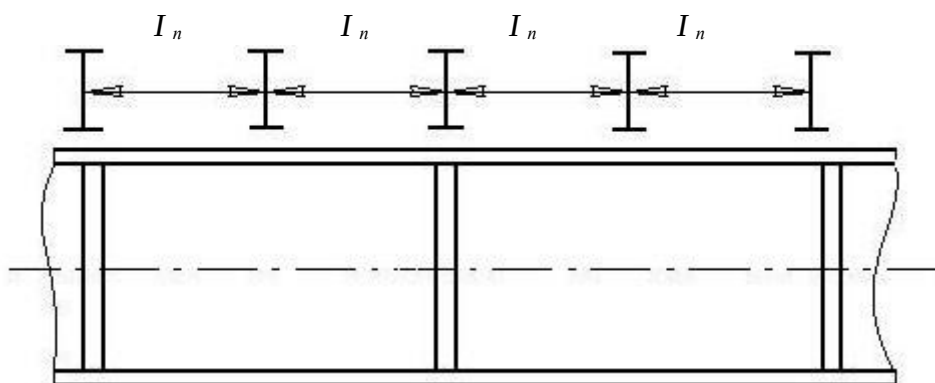


Рисунок 7. Размещение балок настила.

Балки настила изготавливают из фасонного проката двутавр № 30 (таблица 13) и устанавливаем на проектируемой балке с шагом l_0 1м.

На крайних участках балки, где ширина её поясов уменьшена, — отношение l_0

$$\frac{l_0}{b_f} = \frac{1000}{200} = 5$$

Сравниваем это отношение с величиной, полученной по формуле:

$$\left[\varepsilon + 0.0032 \frac{b_f}{t_f} + \left(\xi - \eta \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_w - t_f} \right] \sqrt{\frac{E}{R_y}} =$$

$$\left[0.35 + 0.0032 \frac{200}{25} + \left(0.76 - 0.02 \frac{200}{25} \right) \frac{200}{1300 - 25} \right] \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{215}} = 14.5 > 5,$$

следовательно, устойчивость балки обеспечена.

Коэффициенты ε, ξ, η принимаются по таблице 6. В средней части балки, где

отношение $\frac{l_0}{b_f} = \frac{1000}{400} = 2.5$, допускается развитие пластических деформаций в

сечении с максимальным изгибающим моментом.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Следовательно, наибольшее значение λ_w этого отношения необходимо умножить на поправочный коэффициент, который составляет

$$\delta = 1 - \frac{0.7(c_1 - 1)}{c_1 - 1} = 1 - \frac{0.7(1.09 - 1)}{1.09 - 1} = 0.3$$

Тогда, $0.3 \left[0.35 + 0.0032 \frac{400}{25} + \left(0.76 - 0.02 \frac{400}{25} \right) \frac{400}{1300 - 25} \right] \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{215}} = 4.8 > 2.5$, следовательно, общая устойчивость балки обеспечена.

Устойчивость сжатого верхнего пояса уже проверялась в подразделе 2.2.

Проверяем устойчивость стенок:

условная гибкость $\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{R_w}{E}} = \frac{1250}{10} \sqrt{\frac{215}{2 \cdot 10^5}} 4.13 > 3.2$, следовательно, условие устойчивости стенки не выполняется и требуется рёбра жёсткости.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист

2.7. Рёбра жёсткости.

Выясним, возможна ли расстановка рёбер жёсткости на расстоянии, равном удвоенному шагу балок настила. Проверим устойчивость стенки с учётом местных напряжений под балкой настила в отсеке, где изменяется сечение балки, т.е. на расстоянии 1м от опоры: определим изгибающий момент и поперечную силу в этом месте:

$$M = \frac{qz(l-z)}{2} = \frac{178 \cdot 1(12-1)}{2} = 979 \text{ Кнм} \quad Q = q\left(\frac{l}{2} - z\right) = 178\left(\frac{12}{2} - 1\right) = 890 \text{ кН}$$

$$\text{Краевое нормальное напряжение } \sigma = \frac{Mh_w}{I_x 2} = \frac{979 \cdot 10^6 \cdot 1250}{569 \cdot 10^7 \cdot 2} = 108 \text{ Н / мм}^2$$

$$\text{Среднее касательное напряжение } \tau = \frac{Q}{t_w h_w} = \frac{890 \cdot 10^3}{10 \cdot 1250} = 71 \text{ Н / мм}^2$$

$$\text{Местное напряжение } \sigma_{lok} = \frac{ql_0}{t_w(b+2t_f)} = \frac{178 \cdot 10^3}{10(135+2 \cdot 25)} = 96 \text{ Н / мм}^2, \text{ где } b=135 \text{ мм} - \text{ширина полки двутавра №30 (таблица 13).}$$

$$\text{Коэффициент заземления стенки в поясах } \delta = \beta \left(\frac{b_f}{h_w} \right) \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^3 = 0.8 \frac{200}{1250} \left(\frac{25}{10} \right)^3 = 2,$$

где $\beta = 0.8$ при прерывном опирании

$$\text{Отношение сторон отсека } \mu = \frac{2l_0}{h_w} = \frac{2000}{1250} = 1.6$$

$$\text{Отношение напряжений } \frac{\sigma_{lok}}{\sigma} = \frac{96}{108} = 0.889 > 0.543 \text{ (таблица 9).}$$

В этом случае критическое напряжение определяется по формуле:

$$\sigma_{кр} = \frac{c_2 R_y}{\lambda_w^2} = \frac{62 \cdot 215}{4.13^2} = 818 \text{ Н / мм}^2, \text{ где } c_2 \text{ выбирается по таблице 10.}$$

$$\text{Критическое местное напряжение } \sigma_{locкр} = \frac{c_1 R_y}{\lambda_a^2} = \frac{39.2 \cdot 215}{6.61^2} = 202 \text{ Н/мм}^2, \text{ где}$$

$$c_1 \text{ по таблице 8; } \lambda_a = \frac{2l_0}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{2 \cdot 1000}{10} \sqrt{\frac{215}{2 \cdot 10^5}} = 6.61$$

Критическое касательное напряжение

$$\tau_{кр} = 10.3 \left(1 + \frac{0.76}{\mu^2} \right) \frac{R_y}{\lambda_w^2} = 10.3 \left(1 + \frac{0.76}{1.6^2} \right) \frac{215}{4.13^2} = 102 \text{ Н/мм}^2.$$

Найденные напряжения и их критические значения подставим в формулу:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{кр}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{locкр}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{кр}} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{114}{818} + \frac{102}{202} \right)^2 + \left(\frac{75}{102} \right)^2} = 0.978 < 1$$

Критическое местное напряжение $\sigma_{\text{лоскр}} = \frac{c_1 R_y}{\lambda_a^2} = \frac{39,2 \cdot 215}{6,61^2} = 202 \text{ Н/мм}^2$, где

$$c_1 \text{ по таблице 8; } \lambda_a = \frac{2l_0}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{2 \cdot 1000}{10} \sqrt{\frac{215}{2 \cdot 10^5}} = 6,61$$

Критическое касательное напряжение

$$\tau_{\text{кр}} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{R_y}{\lambda_w^2} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{1,6^2} \right) \frac{215}{4,13^2} = 102 \text{ Н/мм}^2.$$

Найденные напряжения и их критические значения подставим в формулу:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{\text{кр}}} + \frac{\sigma_{\text{лос}}}{\sigma_{\text{лоскр}}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{\text{кр}}} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{114}{818} + \frac{102}{202} \right)^2 + \left(\frac{75}{102} \right)^2} = 0,978 < 1$$

Результат показывает, что принятая расстановка рёбер жёсткости обеспечивает устойчивость стенки, и нет необходимости укреплять её под каждой балкой настила.

Конструируем рёбра:

$$\text{Ширина одного ребра: } b_h = \frac{h_w}{24} + 50 = \frac{1250}{24} + 50 = 102 \text{ мм}$$

$$\text{Ширина свеса уменьшенного пояса: } \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{200 - 10}{2} = 95 \text{ мм}$$

102 > 95 – не подходит (ширина ребра больше свеса пояса).

Конструируем парные рёбра жёсткости, ширина которых:

$$b_h = \frac{h_w}{30} + 40 = \frac{1250}{30} + 40 = 81,7 \text{ мм} \text{ Примем } b_h = 85 \text{ мм} < 95 \text{ мм}$$

$$\text{Толщина рёбер: } t_s = 2b_h \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 2 \cdot 85 \sqrt{\frac{215}{2 \cdot 10^5}} = 6 \text{ мм}$$

Предусматриваем парную расстановку рёбер жёсткости на расстояниях, равных удвоенному шагу балок настила.

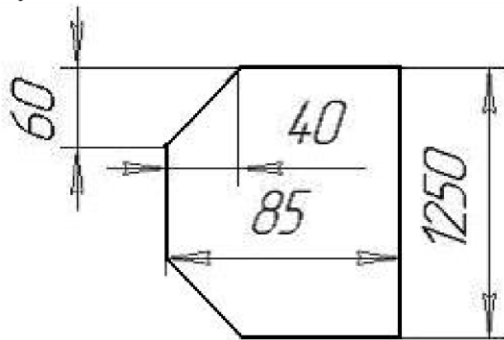


Рисунок 8. Ребро жёсткости.

Раздел 3. Технологическая часть.

3.1. Анализ технологичности балки.

Для изготовления сварной балки применяется низкоуглеродистая сталь ВСтЗпс, относящаяся к первой группе по свариваемости. Сварные соединения из этих сталей отличаются высоким качеством, получаются без применения дополнительных приёмов. Заготовки для элементов балки изготавливаются из листового проката термической резкой и не нуждаются в дальнейшей механической обработке. Все сварные соединения располагаются симметрично, отсутствует скопление сварных швов в одном месте, имеется хороший доступ к местам сварки и для выполнения контрольных операций. Сварная балка позволяет применять высокопроизводительные способы сборки и сварки с применением прогрессивного оборудования и не требует высокой квалификации основных рабочих. Все выше сказанное позволяет сделать вывод, что спроектированная сварная балка является технологичной.

3.2 Технология сборки и сварки.

Заготовки элементов, полученные термической резкой, правятся на листопрямильных вальцах и транспортируются к месту сборки мостовым краном. Сборка осуществляется по разметке на плите модели ПС-2.5Х4 с использованием перпендикулярных зажимов. На сборку поступают сваренные предварительно ручной электродуговой сваркой широкий и узкий пояса с применением V-образной обработки кромок в количестве 2-х штук (верхний и нижний), одна стенка и 14 рёбер жёсткости. На поясах с помощью мостового крана устанавливаем стенку, выверяя установку с помощью угольника, и осуществляем прихватку. Затем устанавливаем и прихватываем второй пояс. При сборке должна соблюдаться симметрия и перпендикулярность поясов относительно стенки. Рёбра жёсткости устанавливаем по разметке и прихватываем. При вертикальном расположении балки сварка производится под флюсом двумя автоматами, обеспечивающими высокую производительность. Для исключения сварных деформаций производим жёсткое закрепление балки при помощи зажимов к плите. При сварке используем проволоку СВ-08А диаметром 5 мм и флюс ОСЦ-45 по ГОСТ 9087-69. Применяемый флюс малочувствителен к ржавчине, даёт плотные швы, стойкие против образования горячих трещин. Сварку ведём в кантователе «в лодочку». После сварки двутавровой балки необходим контроль симметричности и перпендикулярности поясов относительно стенки. Рёбра жёсткости привариваем ручной дуговой сваркой электродами Э42. После сварки рёбер жёсткости, отбиваем

шлак, очищаем металл от брызг, производим контроль и транспортируем сварную балку на склад.

3.3 Применяемое оборудование.

Для автоматической сварки применяем аппарат тракторного типа АДГ-502, который комплектуется универсальным выпрямителем ВДУ-506. Для ручной дуговой сварки в качестве источника питания применяем трансформатор ТД-306.

Литература.

Примечания автора.

1. К подразделу 2.2.

1.1 В том случае, если при конструкторской проверке не соблюдаются рекомендуемые соотношения размеров стенки и поясов, то следует их изменить.

1.2. Если $\frac{h_w}{t_w} > 2,7 \sqrt{\frac{E}{R_y}}$, то из соотношения $\frac{b_{ef}}{t_f} = 0,3 \sqrt{\frac{E}{R_y}}$ следует определить ширину

свеса пояса балки b_{ef} и затем найти новую ширину пояса балки $b_f = 2b_{ef} + t_w$, округлив полученное значение по сортаменту на листовой прокат.

2. К подразделу 2.3.

2.1. В случае не соблюдения условий прочности по нормальным или касательным напряжениям следует конструктивно увеличить толщину стенки и сделать перерасчёт.

3. К подразделу 2.7.

3.1. Если отношение $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma} <$ табличного значения (таблица 9), то критическое напряжение следует вычислять по формуле $\sigma_{кр} = \frac{c_{ст} R_y}{\lambda_w^2}$, где $c_{ст}$ выбирается из таблицы 7.

3.2. Если результат полученный по формуле $\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{кр}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{locкр}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{кр}}\right)^2} > 1$, то рёбра

жёсткости рекомендуется расставлять под каждой балкой настила.

3.3. Если ширина свеса пояса балки будет больше ширины ребра жёсткости, то рёбра жёсткости рекомендуется расставлять в шахматном порядке.

4. Образец выполнения чертежа общего вида представлен на рисунке 9. Размеры и обозначения сварных швов рекомендуется проставить самостоятельно.

5. Все необходимые для расчёта табличные значения выбираются из таблиц приложения.

ПРИЛОЖЕНИЕ.

Справочные таблицы

Таблица 3. Сортамент стального листового проката

Толщина листа t , мм.	4; 6; 8; 9; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 36; 40; 45; 50.
Ширина листа b , мм.	180; 200; 220; 240; 250; 260; 280; 300; 320; 340; 360; 380; 400; 420; 450; 480; 500; 560; 600; 630; 650; 670; 700; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1050; 1100; 1250; 1400; 1420; 1500.

Таблица 4. Расчётные сопротивления стального проката.

Марка стали.	Толщина листового проката	Расчётные сопротивления R , Н/мм ²	
		Листовой прокат	Фасонный прокат
18сп	4...20	220	230
18кп	4...20	230	240
ВСт3псб-1	4...50	230	240
ВСт3кп2	4...20	220	230
ВСт3сп	4...20	240	240
09Г2	4...20	290	300
10Г2С1	10...20	320	330
14Г2	4...9	320	320
15ХСНД	4...32	330	330
10ХСНД	4...32	355	355
14Г2АФ	4...50	370	-

Таблица 5. Значения коэффициента c для сварных балок

Отношение площадей пояса и стенки балки $\frac{A_f}{A_w}$	0,25	0,5	1	2
Значение коэффициента c	1,19	1,12	1,07	1,04

Таблица 6. Коэффициенты ξ , ϵ , η .

Приложение нагрузки.	E	ξ	η
К верхнему поясу.	0,35	0,76	0,02
К нижнему поясу.	0,57	0,92	0,02
Независимо от места приложения.	0,41	0,73	0,016

Таблица 7. Коэффициент $c_{ст}$ для стальных сварных балок.

Коэф. Защемления стенки в поясах δ	<0,8	1	2	4	6	10	>30
Коэффициент $c_{ст}$	30	31,5	33,3	34,6	34,8	35,1	35,5

Таблица 8. Коэффициент c_1 для сварных балок.

Δ μ	<0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	>2
<1	11,5	12,4	14,8	18	22,2	27,1	32,6	38,9	45,6
2	12	13	16,1	20,4	25,7	32,1	39,2	46,5	55,7
4	12,3	13,3	16,6	21,6	28,1	36,3	45,2	54,9	65,1
6	12,4	13,5	16,8	22,1	29,1	38,3	48,7	59,4	70,4
10	12,4	13,6	16,9	22,5	30	39,7	51	63,3	76,5
>30	12,5	13,7	17	22,9	31	41,6	53,8	68,2	83,6

Таблица 9. Значение отношения $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma_s}$ для стальных сварных балок.

Δ μ	0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	>2
<1	0	0,146	0,183	0,267	0,359	0,455	0,54	0,618
2	0	0,109	0,169	0,277	0,406	0,543	0,652	0,799
4	0	0,072	0,129	0,281	0,479	0,711	0,93	1,132
5	0	0,066	0,127	0,288	0,536	0,874	1,192	1,468
10	0	0,059	0,122	0,296	0,574	1,002	1,539	2,154
>30	0	0,047	0,112	0,3	0,633	1,283	2,249	3,939

Таблица 10. Коэффициент c_2 для сварных балок.

M	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6
c_2	37	39,2	45,2	52,8	62	72,6	84,7	84,7	84,7	84,7

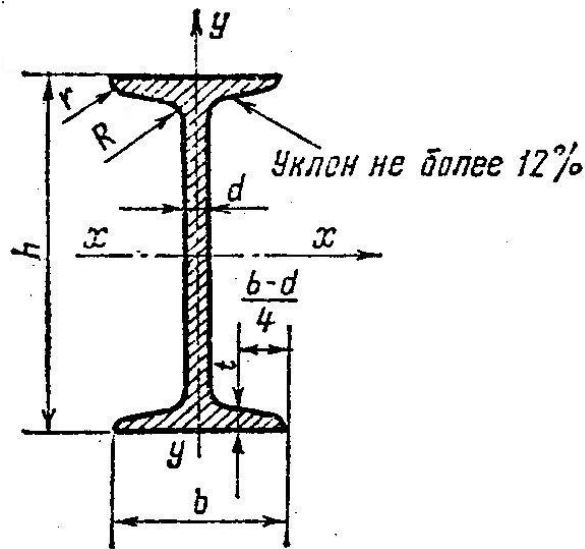
Таблица 11. Коэффициент α для расчёта плит, опёртых по четырём сторонам.

$\frac{a}{b}$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	>2
$\alpha \cdot 10^{-3}$	48	55	63	69	75	81	86	91	94	98	100	125

Таблица 12. Коэффициент α_1 для расчёта плит, опёртых по трём сторонам.

$\frac{a_1}{b_1}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4	2	>2
α_1	0,06	0,074	0,088	0,097	0,107	0,112	0,12	0,126	0,132	0,133

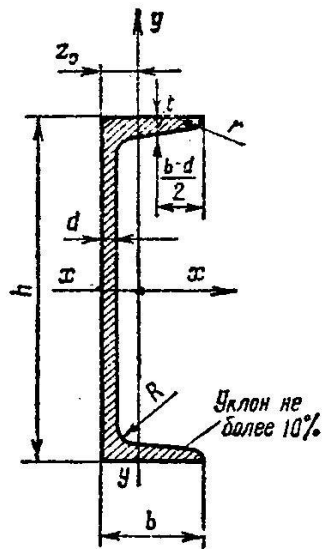
Таблица 13. Сталь горячекатаная, балки двутавровые. ГОСТ 8239-89 [10].



Номер балки.	H, мм.	B, мм.	D, мм.	A, см ²	I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см
10	100	55	4,5	12	193	39,7	4,06	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	14,7	350	58,4	4,88	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	17,4	572	61,7	5,73	41,9	11,5	1,55
16	160	81	5	20,2	873	109	6,57	58,6	14,5	1,7
18	180	90	5,1	23,4	1290	143	7,42	82,6	18,4	1,88
20	200	100	5,2	26,8	1840	184	8,28	115	23,1	2,07
22	220	110	5,4	30,6	2550	232	9,13	157	28,6	2,27
24	240	115	5,6	34,8	3460	289	9,97	198	34,5	2,37
27	270	125	6	40,2	5010	371	11,2	260	41,5	2,54
30	300	135	6,5	46,5	7080	472	12,3	337	49,9	2,6
33	330	140	7	53,8	9840	597	13,5	419	59,9	2,79
36	360	145	7,5	61,9	13380	743	14,7	516	71,1	2,89
40	400	155	8	72,6	19062	953	16,2	667	86,1	3,03
45	450	160	8,6	84,7	27696	1231	18,1	808	101	3,09
50	500	170	9,5	100	39727	1589	19,9	1043	123	3,23
55	550	180	10,3	118	55962	2035	21,8	1356	151	3,39
60	600	190	11,1	138	76806	2560	23,6	1725	182	3,54
65	650	200	12	153	101400	3120	25,8	2170	217	3,77
70	700	210	13	176	134600	3840	27,7	2730	260	3,94

Обозначения: h – высота профиля; b – ширина полки; d – толщина стенки; A – площадь профиля; I – момент инерции; W – момент сопротивления; i – радиус инерции.

Таблица 14. Сталь прокатная. Швеллеры. ГОСТ 8240-89.



№ профиля.	h мм.	B мм.	D мм	A см ²	I _x см ⁴	W _x см ³	i _x см	I _y см ⁴	W _y см ³	i _y см.	z ₀ см.
5	50	32	4,4	6,16	22,8	9,1	1,92	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	65	36	4,4	7,51	48,6	15	2,54	8,7	3,68	1,08	1,24
8	80	40	4,5	8,98	89,4	22,4	3,16	12,8	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	10,9	174	34,8	3,99	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	13,3	304	50,6	4,78	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	15,6	491	70,2	5,6	45,4	11	1,7	1,67
14a	140	62	4,9	17	545	77,8	5,66	57,5	13,3	1,84	1,87
16	160	64	5	18,1	747	93,4	6,42	63,3	13,8	1,87	1,8
16a	160	68	5	19,5	823	103	6,49	78,8	16,4	2,01	2
18	180	70	5,1	20,7	1090	121	7,24	86	17	2,04	1,94
18a	180	74	5,1	22,2	1190	132	7,32	105	20	2,18	2,13
20	200	76	5,2	23,4	1520	152	8,07	113	20,5	2,2	2,07
20a	200	80	5,2	25,2	1670	167	8,15	139	24,2	2,35	2,28
22	220	82	5,4	26,7	2110	192	8,89	151	25,1	2,37	2,21
22a	220	87	5,4	28,8	2330	212	8,99	187	30	2,55	2,46
24	240	90	5,6	30,6	2900	242	9,73	208	31,6	2,6	2,42
24a	240	95	5,6	32,9	3180	265	9,84	254	37,2	2,78	2,67
27	270	95	6	35,2	4160	308	10,9	262	37,3	2,73	2,47
30	300	100	6,5	40,5	5810	387	12	327	43,6	2,84	2,52
33	330	105	7	46,5	7980	484	13,1	410	51,8	2,97	2,59
36	360	110	7,5	53,4	10820	601	14,2	513	61,7	3,1	2,68
40	400	115	8	61,5	15220	761	15,7	642	73,4	3,23	2,75

Обозначения: h – высота профиля; b – ширина полки; d – толщина стенки; A – площадь профиля; I – момент инерции; W – момент сопротивления; i – радиус инерции; z₀ – рас-

Литература.

1. Пояркова, Е. В. Прочность сварных конструкций : учебное пособие / Е. В. Пояркова, Л. С. Диньмухаметова, Ж. Г. Калеева. — 2-е изд. — Москва : ФЛИНТА, 2017. — 223 с. — ISBN 978-5-9765-3386-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/97105>
2. 10. Бартенев, И. Расчет и проектирование сварных конструкций : учебник / И. Бартенев, В. Боченин, С. Чернова. — 3-е изд., стер. — Нур-Султан : Фолиант, 2019. — 136 с. — ISBN 978-601-338-358-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/141656>