

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Агафонов Александр Викторович
Должность: директор филиала
Дата подписания: 17.06.2026 15:35:43
Уникальный программный ключ:
2539477a8ecf706dc9cff164bc411eb6d3c4ab06

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ЧЕБОКСАРСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) МОСКОВСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Кафедра Строительное производство


УТВЕРЖДАЮ
Директор филиала
А.В. Агафонов
"27" мая 2026г.

**Методические рекомендации по подготовке и защите
курсовой работы по дисциплине**

«Металлические конструкции, включая сварку»
(наименование дисциплины)

Специальность	08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений (код и наименование направления подготовки)
Специализация	Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений (наименование профиля подготовки)
Квалификация выпускника	Инженер-строитель
Форма обучения	очная

Чебоксары, 2026

Методические рекомендации по подготовке и защите курсовой работы по дисциплине Металлические конструкции, включая сварку разработаны в соответствии с:

- Федеральный государственный образовательный стандарт по специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений и уровню высшего образования Специалитет, утвержденный приказом Минобрнауки России от 31.05.2017 № 483 (далее – ФГОС ВО);
- учебным планом (очной формы обучения) по специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений;
- рабочей программой дисциплины «Металлические конструкции, включая сварку».

Автор Петрова Ирина Владимировна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры Строительное производство

(указать ФИО, ученую степень, ученое звание или должность)

Методические рекомендации одобрены на заседании кафедры Строительное производство Строительное производство (протокол № 9 от 22.05.2026.).

В Методических рекомендациях изложены методология и методика подготовки курсовых работ в области расчета и проектирования металлических конструкций балочной клетки, а также углубление навыков самостоятельной работы с научно-технической литературой по строительству.

Методические рекомендации предназначены для руководителей курсовых проектов, а также для студентов всех форм обучения обучающихся по специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений в Чебоксарском институте (филиале) Московского политехнического университета.

Порядок выбора и утверждения темы курсовой работы

Тема определяется студентом самостоятельно на основании перечней направлений научно-исследовательской деятельности, ежегодно утверждаемых кафедрами, и затем формулируется им в первоначальной редакции.

Одна и та же тема не может выполняться несколькими студентами одной и той же группы. В случае совпадения интересов содержание курсовой работы следует согласовать с преподавателем для того, чтобы обеспечить ее исполнение в разных аспектах.

Тема курсовой работы определяется по первой букве ФАМИЛИИ.

Первая буква фамилии	Темы (на выбор)
А-Г	1,13,15,20
Д-К	2, 14,16
Л-Н	3, 18,19
О-Р	4,21,22,23
С	5
Т	6
У	7
Ф	8
Х	9
Ц	10
Ч	11
Ш-Я	12, 24,25,26

Тематика курсовых работ

1. Расчет и проектирование конструкций балочной клетки.
2. Проектирование прокатной и сварной балки металлического каркаса.
3. Выполнение проекта КМ и КМД элементов производственного цеха.
4. Проектирование рабочей площадки промышленного здания.
5. Расчет системы балок при реконструкции сборочного цеха.
6. Выполнение проекта металлической каркасной системы.
7. Расчет балок и колонн объекта бытового обслуживания населения.
8. Проектирование комплекса на основе балочной клетки.
9. Расчет и конструирование элементов каркаса крытого рынка.
10. Выполнение проекта конструкций автозаправочной станции.
11. Расчет балок и колонн металлургического завода.
12. Проектирование системы каркаса здания хлебокомбината.
13. Выполнение проекта конструкций цветочного магазина.
14. Расчет элементов балочной клетки складского помещения.
15. Проектирование рабочей площадки объекта сферы услуг.
16. Выполнение проекта конструкций автобусной станции.
17. Расчет элементов каркаса строительного управления.
18. Проектирование системы балок и колонн крытой автостоянки.
19. Выполнение проекта конструкций промышленного объекта.

20. Расчет каркасной системы выставочного павильона.
21. Проектирование рабочей площадки парковки автомобилей.
22. Выполнение проекта конструкций здания пожарного депо.
23. Расчет балочной клетки диспетчерской службы автовокзала.
24. Проектирование элементов каркаса металлокомбината.
25. Выполнение проекта системы балок химического завода.
26. Расчет комплекса несущих конструкций торгового центра.

3. Структура и содержание курсовой работы

Курсовая работа должна отвечать следующим требованиям к структуре:

Расчетно-пояснительная записка должна содержать:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- основную часть;
- список использованной литературы.

В работе могут быть приложения.

Во введении должны быть указаны следующие положения:

- актуальность избранной темы и причины (обоснование) ее выбора для подготовки курсовой работы;
- обоснование новизны избранной темы;
- степень исследованности (разработанности) темы в отечественной и зарубежной литературе;
- общий обзор проектирования индивидуальных жилых домов;
- указание на цели и задачи исследования, предмета, объекта исследования, методов.

4. Методика расчета

1. ВЫБОР СХЕМЫ БАЛОЧНОЙ КЛЕТКИ

Исходные данные для проектирования

Размеры ячейки $A \times B = 10 \times 6,8$ м.

Временная нормативная нагрузка $P_n = 19$ кН/м².

Материал конструкций:

- балок, настила, вспомогательных – сталь С255;
- главных балок – С255;
- колонн – С255.

Допустимый относительный прогиб настила 1/200.

Отметка верха настила 6,5 м.

1.1. Нормальная балочная клетка

Нормальная балочная сетка (НБК) (рис. 1.1) состоит из колонн, на которые опираются сварные двутавровые главные балки, по которым, в свою очередь, устанавливаются прокатные балки настила. По балкам настила укладывается стальной настил.

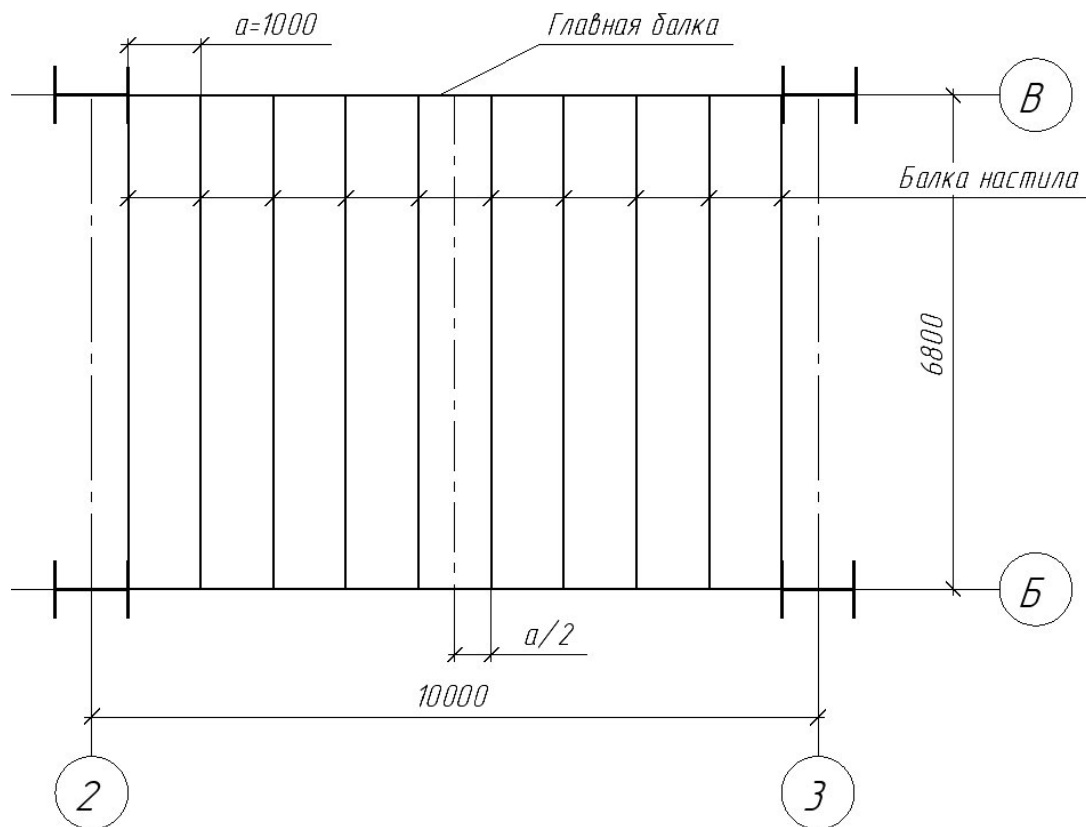


Рис. 1.1. Нормальная балочная клетка

Шаг балок настила $a = 0,6 \dots 1,6$ м, при этом балка настила не ставится в середине её пролёта.

Толщину стального настила определяем с учетом жёсткости по формуле:

$$\frac{l_{\text{н}}}{t_{\text{н}}} = \frac{4n_0}{15} \left(1 + \frac{72E_1}{n_0^4 p_n} \right) \quad (1)$$

где $l_{\text{н}}$ – пролет настила, м, для нормальной балочной клетки принимаем $l_{\text{н}} = 1$ м;
 $t_{\text{н}}$ – толщина настила, м; n_0 – величина, обратная предельной деформации (по заданию на КП), $n_0 = 200$; E_1 – приведенный модуль упругости стали с учетом поперечной деформации, $E_1 = 2,21 \cdot 10^8$ кН/м²; p_n – временная нормативная нагрузка (по заданию на КП), $p_n = 19$ кН/м²;

$$\frac{l_{\text{н1}}}{t_{\text{н1}}} = \frac{4 \cdot 200}{15} \left(1 + \frac{72 \cdot 2,21 \cdot 10^8}{200^4 \cdot 19} \right) = 81,25$$

Толщина настила для нормальной балочной клетки

$$t_{\text{н1}} = \frac{l_{\text{н1}}}{81,25} = \frac{1}{81,25} = 0,0123 \text{ м} \approx 13 \text{ мм} \quad (2)$$

В соответствии с ГОСТ 19903-74 «Сталь листовая горячекатанная. Сортамент» [1] принимаем $t_{\text{н1}} = 14$ мм.

Расчетная схема балки настила приведена на рис. 1.2.

Подбор сечения балки настила осуществляется следующим образом.

Нагрузки на балку настила:

- нормативная нагрузка (на 1 м):

$$q^{\text{н}} = 1,02(t_{\text{н1}}\rho_{\text{ст}} + p_n)a = 1,02(0,014 \cdot 78,5 + 19) \cdot 1 = 20,5 \text{ кН/м}, \quad (3)$$

где 1,02 – коэффициент, учитывающий собственный вес балки; $\rho_{\text{ст}}$ – плотность стали, $\rho_{\text{ст}} = 7850$ кг/м³ = 78,5 кН/м³; p_n – нормативная нагрузка, кН/м²; a – ширина грузовой площади, равная шагу балок настила, $a = 1$ м;

- расчётная нагрузка

$$q = 1,02(t_{\text{н1}}\rho_{\text{ст}}\gamma_{f_1} + p^{\text{н}}\gamma_{f_2})a = 1,02(0,014 \cdot 78,5 \cdot 1,05 + 19 \cdot 1,2)1 = 24,43 \text{ к} \quad (4)$$

где γ_{f_1} – коэффициент надёжности по материалу для стали, $\gamma_{f_1} = 1,05$; γ_{f_2} – коэффициент надёжности по временной нагрузке, $\gamma_{f_2} = 1,2$.

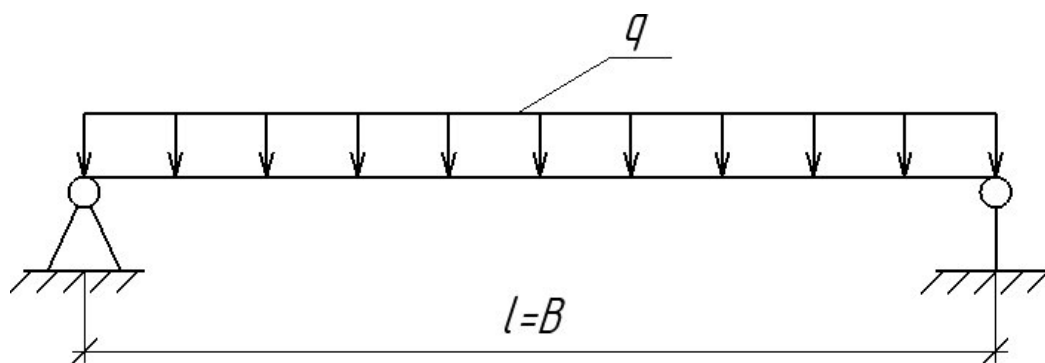


Рис. 1.2. Расчетная схема балки настила

Максимальный изгибающий момент

$$M_{max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{24,43 \cdot 6,8^2}{8} = 141,21 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (5)$$

Требуемый момент сопротивления балки настила из условия прочности на изгиб

$$W_{\text{треб}} = \frac{M_{max}}{cR_y} = \frac{141,21 \cdot 100}{1,12 \cdot 24} = 525,33 \text{ см}^3, \quad (6)$$

где R_y – расчетное сопротивление по пределу текучести, $R_y = 4 \text{ кН/см}^2$; c – коэффициент пластичности.

По сортаменту подбираем двутавр № 36 с характеристиками: $J_x = 13380 \text{ см}^4$, $W_x = 743 \text{ см}^3$, вес 1 пог. м балки настила $m_1 = 48,6 \text{ кг/м}$.

Проверка жёсткости (прогиба балки):

$$\frac{f}{l} = \frac{5ql^3}{384EJ_x} \leq \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250} \quad (7)$$

$$\frac{f}{l} = \frac{5 \cdot 0,205 \cdot 680^3}{384 \cdot 2,06 \cdot 10^4 \cdot 13380} = 0,003 < \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250},$$

где $\left[\frac{f}{l} \right]$ – относительная предельная деформация; E – модуль упругости стали, $E = 2,06 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2$.

Расход материала по варианту 1

$$V_1 = t_{н1} \rho_{ст} + \frac{m_1}{a} = 0,014 \cdot 7850 + \frac{48,6}{1} = 158,5 \text{ кг/м}^2. \quad (8)$$

1.2. Усложнённая балочная клетка

По главным балкам с шагом $b = 2 \dots 4 \text{ м}$ укладываются вспомогательные балки.

По вспомогательным балкам с шагом $a' = 0,5 \dots 1,2 \text{ м}$ устанавливаются балки настила.

Необходимо выполнить условия:

$$1) \ b > a';$$

2) $a' < a$.

Принимаем $a' = 0,68 \text{ м}$, $b = 2 \text{ м}$.

Эскиз усложненной балочной клетки (УБК) приведен на рис. 1.3.

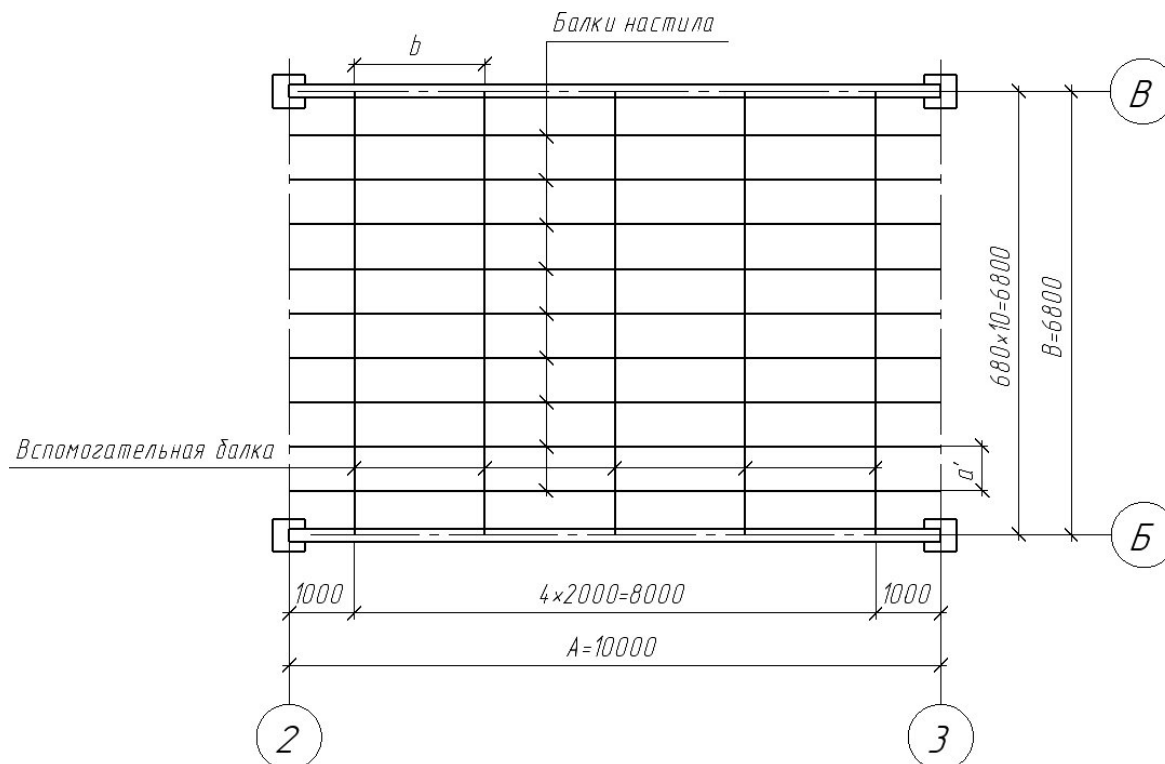


Рис. 1.3. Усложненная балочная клетка

Толщину настила для усложненной балочной клетки $t_{н1}$ принимаем, используя предыдущие расчеты, из пропорции

$$\frac{l_{н1}}{l_{н2}} = \frac{t_{н1}}{t_{н2}}; t_{н2} = \frac{l_{н2} t_{н1}}{l_{н1}}, \quad (9)$$

где $l_{н2}$ – пролет настила для УБК, $l_{н2} = 0,68 \text{ м}$;

$$t_{н2} = \frac{0,68 \cdot 0,014}{1} = 0,0095 \text{ м} = 9,52 \text{ мм},$$

В соответствии ГОСТ 19903-74 «Сталь листовая горячекатанная. Сортамент»[1] принимаем $t_{н2} = 8 \text{ мм}$.

1.2.1. Подбор сечения балки настила

Определяем нагрузки на балки настила:

- нормативная

$$q_n = 1,02(t_{н2} \rho_{ст} + p^n) a' = 1,02(0,01 \cdot 78,5 + 19) \cdot 0,68 = 13,723 \text{ кН/м} \quad (10)$$

- расчётная

$$q = 1,02(t_{н2} \rho_{ст} \gamma_{f1} + p^n \gamma_{f2}) a' = 1,02(0,01 \cdot 78,5 \cdot 1,05 + 19 \cdot 1,2) \cdot 0,68 = 16,386 \text{ кН/м} \quad (11)$$

Максимальный изгибающий момент

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{16,386 \cdot 2^2}{8} = 8,193 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (12)$$

$$l = b = 2 \text{ м}.$$

Требуемый момент сопротивления балки настила

$$W_{\text{треб}} = \frac{M_{\max} \cdot 100}{cR_y} = \frac{8,193 \cdot 100}{1,12 \cdot 24} = 30,48 \text{ см}^3. \quad (13)$$

По сортаменту принимаем двутавр №10 со следующими характеристиками:

$$J_x = 198 \text{ см}^4, W_x = 39,7 \text{ см}^3, m_2 = 9,46 \text{ кг/м}.$$

Проверка жёсткости (прогиба) балки

$$\frac{f}{l} = \frac{5q^{\text{н}}l^3}{384EJ_x \cdot 100} \leq \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250} = 0,004, \quad (14)$$

где $\left[\frac{f}{l} \right]$ относительная предельная деформация; E – модуль упругости стали,

$$E = 2,1 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2;$$

$$\frac{f}{l} = \frac{5 \cdot 13,723 \cdot 200^3}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 198 \cdot 100} = 0,0034 < \left[\frac{f}{l} \right] = 0,004,$$

Данная балка удовлетворяет требованиям деформативности.

1.2.2. Подбор сечения вспомогательных балок для усложнённой балочной клетки

Нормативная нагрузка

$$q^{\text{н}} = 1,02 \left(t_{\text{н}2} \rho_{\text{ст}} + \frac{m_2}{100a'} + p^{\text{н}} \right) b = 1,02 \left(0,01 \cdot 78,5 + \frac{9,46}{100 \cdot 0,68} + 19 \right) \cdot 2 = 40,645 \text{ кН/м} \quad (15)$$

Расчётная нагрузка

$$q = 1,02 \left(t_{\text{н}2} \rho_{\text{ст}} \gamma_{f_1} + \frac{m_2}{100a'} \gamma_{f_1} + p^{\text{н}} \gamma_{f_2} \right) b = 1,02 \left(0,01 \cdot 78,5 \cdot 1,05 + \frac{9,46}{100 \cdot 0,68} \cdot 1,05 + 19 \cdot 1,2 \right) \cdot 2 = 48,491 \text{ кН} \quad (16)$$

Максимальный изгибающий момент

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{48,491 \cdot 6,8^2}{8} = 280,278 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (17)$$

где l – пролет вспомогательной балки, $l = B = 6,8 \text{ м}$.

Требуемый момент сопротивления

$$W_{\text{треб}} = \frac{M_{\max} \cdot 100}{cR_y} = \frac{280,278 \cdot 100}{1,12 \cdot 24} = 1042,7 \text{ см}^3 \quad (18)$$

По сортаменту принимаем двутавр №45 со следующими характеристиками:

$$J_x = 27696 \text{ см}^4, W_x = 1231 \text{ см}^3, m_3 = 66,5 \text{ кг/м}.$$

Проверка жёсткости:

$$\frac{f}{l} = \frac{5q^{\#}l^3}{384EJ_x} = \frac{5 \cdot 40,645 \cdot 680^3}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 27696 \cdot 100} = 0,0029 < \left[\frac{f}{l} \right] = 0,004 \quad (19)$$

Условие деформативности выполняется.

Определяем расход материалов по УБК:

$$V_2 = t_{\#2} \rho_{ст} + \frac{m_2}{a'} + \frac{m_3}{b} = 0,01 \cdot 7850 + \frac{9,46}{0,68} + \frac{66,5}{2} = 125,662 \text{ кг/м}^2$$

К дальнейшей разработке принимаем вариант с меньшим расходом материала, т.е. УБК.

2. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ГЛАВНОЙ БАЛКИ

2.1. Сбор нагрузок

Главная балка проектируется в виде сварного симметричного двутавра (рис. 2.1)

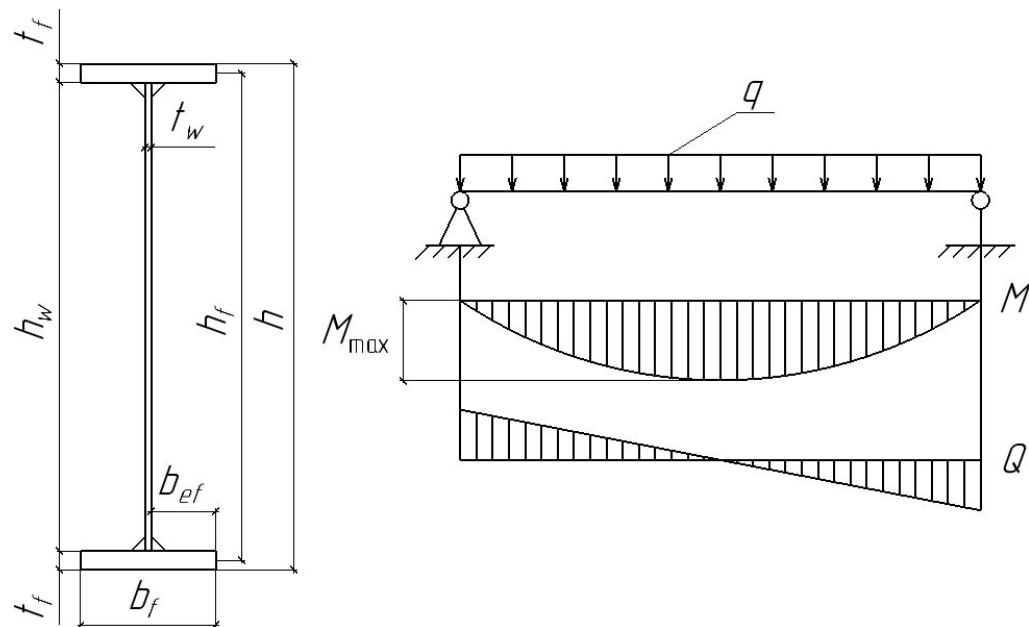


Рис. 2.1. Главная балка

Нагрузка на главную балку:

- нормативная

$$q_{\#} = 1,02(V + p^{\#})B = 1,02 \left(\frac{125,662}{100} + 19 \right) 6,8 = 140,5 \text{ кН/м} \quad (20)$$

-расчетная

$$q = 1,02(V\gamma_{f_1} + p^{\#}\gamma_{f_2})B = 1,02 \left(\frac{125,662}{100} 1,05 + 19 \cdot 1,2 \right) 6,8 = 167,293 \text{ кН/м}, \quad (21)$$

где V – расход стали по варианту; B – ширина грузовой площади; $\gamma_{f_1} = 1,05$; $\gamma_{f_2} = 1,2$.

Максимальный изгибающий момент

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{167,293 \cdot 10^2}{8} = 2091,163 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (22)$$

Максимальная поперечная сила

$$Q_{\max} = \frac{ql}{2} = \frac{167,293 \cdot 10}{2} = 836,465 \text{ кН} \quad (23)$$

Требуемый момент сопротивления балки

$$W_{\text{треб}} = \frac{M_{\max}}{\sigma R_y} = \frac{2091,163 \cdot 100}{1,12 \cdot 24} = 7779,624 \text{ см}^3 \quad (24)$$

2.2. Выбор высоты главной балки

Высота главной балки принимается из двух условий:

- 1) $h \geq h_{\min}$;
- 2) $h \approx h_{\text{опт}}$.

Первое условие обеспечивает жёсткость главной балки, второе условие – наименьшую материалоемкость балки.

Минимальная высота балки

$$h_{\min} = \frac{5R_y l}{24E} \left[\frac{l}{f} \right] \frac{q_n}{q} = \frac{5 \cdot 24 \cdot 1000}{24 \cdot 2,1 \cdot 10^4} [400] \frac{140,5}{167,293} = 79,985 \text{ см}, \quad (25)$$

где $l = A$ – пролет главной балки; l/f – величина, обратная допустимому относительному прогибу главной балки ($f/l = 1/400$), $l/f = 400$.

Оптимальная высота балки из опыта проектирования

$$h_{\text{опт}} = k \sqrt{\frac{W_{\text{треб}}}{t_w}} = 1,1 \sqrt{\frac{7779,624}{1,2}} = 88,569 \text{ см}, \quad (26)$$

где k – коэффициент для сварных балок, $k = 1,1$; t_w – толщина стенки, предварительно принимаем $t_w = 1,2$ см.

Предварительно принимаем высоту балки по максимальной величине $h = 88,569$ см.

Задаёмся толщиной поясов $t_f = 36$ мм, тогда требуемая высота стенки будет

$$h_w = h_{\text{опт}} - 2t_f = 88,569 - 2 \cdot 3,6 = 81,369 \text{ см}. \quad (27)$$

В соответствии с ГОСТ 19903-74 «Сталь листовая горячекатанная. Сортамент» [1] на листовую сталь принимаем высоту стенки $h_w = 900$ мм. Тогда окончательная высота балки

$$h = h_w + 2t_f = 900 + 2 \cdot 36 = 972 \text{ мм}. \quad (28)$$

2.3. Компоновка сечения

Фактическая толщина стенки принимается из условия прочности на срез

$$t_w \geq \frac{3 Q_{\max}}{2 R_s h_w} \quad (29)$$

$$t_w = \frac{3}{2} \cdot \frac{836,45}{0,58 \cdot 24 \cdot 90} = 0,95 \text{ см} \approx 1 \text{ см} = 10 \text{ мм},$$

где Q_{\max} – максимальная поперечная сила в балке (опорная реакция), кН; R_s – расчётное сопротивление стали срезу, кН/см², ; h_w – высота стенки балки (рис. 2.2).

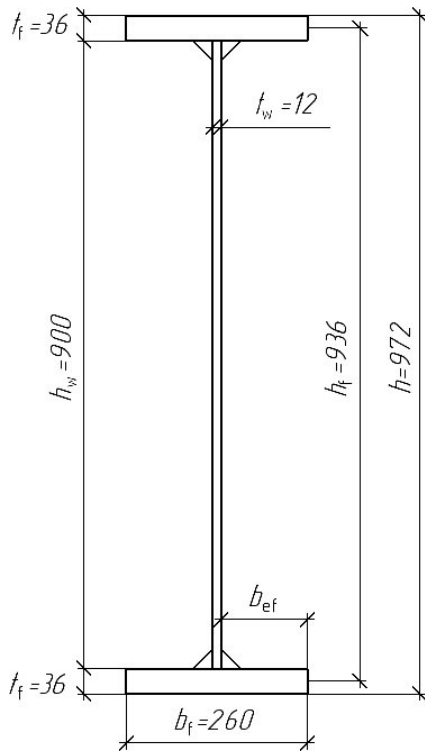


Рис. 2.2. Сечение главной балки

Предварительно мы приняли толщину стенки $t_w = 1,2 \text{ см}$, что подтверждается расчётом на срез. Окончательно $t_w = 12 \text{ мм}$.

Момент инерции стенки балки

$$J_w = \frac{t_w h_w^3}{12} = \frac{1,2 \cdot 90^3}{12} = 72900 \text{ см}^4 \quad (30)$$

ия

$$J_{x \text{ треб}} = \frac{W_{\text{треб}} h}{2} = \frac{7779,624 \cdot 97,2}{2} =$$

(31)

$$= 378089,727 \text{ см}^4$$

Требуемый момент инерции
поясных листов

$$J_f \text{ треб} = J_{x \text{ треб}} - J_w = 378089,727 - 72900 =$$

(32)

$$= 305189,727 \text{ см}^4$$

Требуемая площадь поясных листов

$$A_{f \text{ треб}} = \frac{2J_x \text{ треб}}{h_f^2} = \frac{2 \cdot 305189,727}{93,6^2} = 69,67 \text{ см}^2, \quad (33)$$

где h_f – расстояние между центрами тяжести поясных листов, $h_f = 93,6 \text{ см}$.

Требуемая ширина поясных листов

$$b_f = \frac{A_{f \text{ треб}}}{t_f} = \frac{69,67}{3,6} = 19,353 \text{ см} \quad (34)$$

Окончательно требуемую ширину пояса принимаем в соответствии с ГОСТ 82-70 «Прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный. Сортамент» [2] на листовую сталь (кратно 5 мм, при этом не меньше 180 мм), принимаем $b_f = 260 \text{ мм}$.

Для обеспечения устойчивости пояса должны выполняться условия:

$$\begin{aligned} 1) \frac{h}{b_f} &\leq 5; \quad \frac{97,2}{260} = 3,738 < 5, \\ 2) \frac{b_{ef}}{t_f} &\leq 0,5 \sqrt{\frac{E}{R_y}}; \quad \frac{124}{36} = 3,44 < 0,5 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^4}{24,0}} = 14,79 \end{aligned} \quad (35)$$

$$b_{ef} = \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{260 - 12}{2} = 124 \text{ мм},$$

где b_{ef} – свес пояса.

Условия выполняются, следовательно, окончательная ширина пояса $b_f = 260 \text{ мм}$.

Геометрические характеристики принятого сечения (рис. 2.2):

$$\begin{aligned} J_x &= \frac{t_w h_w^3}{12} + \frac{b_f t_f^3}{12} \cdot 2 + 2b_f t_f \left(\frac{h - t_f}{2}\right)^2 = \frac{1,2 \cdot 90^3}{12} + 2 \left[\frac{26 \cdot 3,6^2}{12} + 26 \cdot 3,6 \left(\frac{97,2 - 3,6}{2}\right)^2 \right] \\ &= 482969,088 \text{ см}^4 \end{aligned} \quad (36)$$

$$W_x = \frac{J_x}{h/2} = \frac{482969,088}{97,2/2} = 9937,636 \text{ см}^3. \quad (37)$$

Прочность принятого сечения (перенапряжение допустимо не более 5%, принимается равным 1 для двутавровых сечений)

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{cW_x} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (38)$$

где γ_c – коэффициент условия работы, $\gamma_c = 0,9$.

$$\sigma = \frac{2091,163 \cdot 100}{1 \cdot 9937,636} = 21,043 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 210,43 \text{ МПа} < R_y \cdot \gamma_c = 240 \cdot 0,9 \text{ МПа};$$

Условие прочности выполняется.

2.4. Изменение сечения главной балки

В целях экономии стали в сечениях с меньшими изгибающими моментами по сравнению с M_{\max} производится уменьшение сечения путём уменьшения ширины верхнего и нижнего поясов (рис. 2.3).

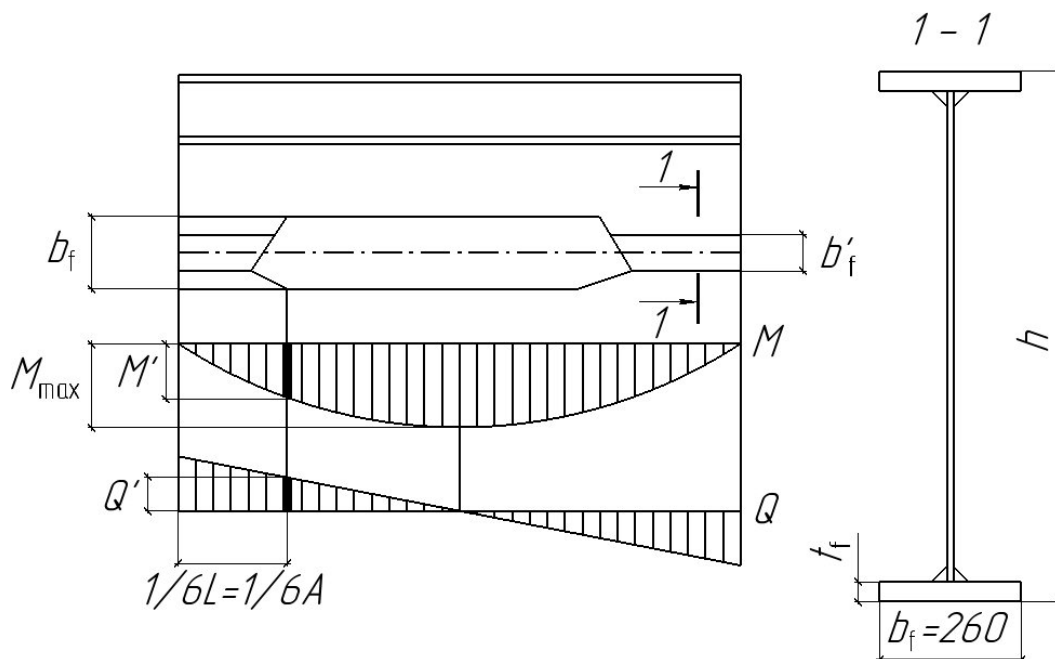


Рис. 2.3. Изменение сечения главной балки

Изменение сечения производится на расстоянии от опоры $x = l/6$. При $b_f \leq 180$ мм изменение сечения не производится.

Определим изгибающий момент в месте изменений сечения:

$$x = \frac{10}{6} = 1,67 \text{ м};$$

$$M' = \frac{qx(l-x)}{2} = \frac{167,293 \cdot 1,67(10 - 1,67)}{2} = 1163,615 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (39)$$

Поперечная сила в этом сечении

$$Q' = q \left(\frac{l}{2} - x \right) = 167,293 \left(\frac{10}{2} - 1,67 \right) = 557,086 \text{ кН}. \quad (40)$$

Требуемый момент сопротивления измененного сечения определяется с учетом прочности стыкового сварного шва.

Расчетное сопротивление шва

$$R_{wy} = 0,85R_y; \quad (41)$$

$$R_{wy} = 0,85 \cdot 240 = 204 \text{ МПа} = 20,4 \text{ кН/см}^2.$$

Тогда

$$W'_{x \text{ треб}} = \frac{M'}{R_{wy}} = \frac{1163,615 \cdot 100}{20,4} = 5703,995 \text{ см}^3. \quad (42)$$

Требуемый момент инерции изменённого сечения

$$J'_{x \text{ треб}} = W'_{x \text{ треб}} \frac{h}{2} = 5703,995 \cdot \frac{97,2}{2} = 277214,157 \text{ см}^4. \quad (43)$$

Требуемый момент инерции изменённого пояса

$$J'_{f \text{ треб}} = J'_{x \text{ треб}} - J_w, \quad (44)$$

где J_w – момент инерции стенки, ранее определен $J_w = 72900 \text{ см}^4$;

$$J'_{f \text{ треб}} = 277214,157 - 72900 = 204314,157 \text{ см}^4; \quad (45)$$

Требуемая ширина изменённого пояса

$$b'_f = \frac{2J'_{f \text{ треб}}}{t_f h_f^2} = \frac{2 \cdot 204314,157}{3,6 \cdot 93,6^2} = 12,956 \text{ см}. \quad (46)$$

Ширину листа принимаем по ГОСТ 82-70 «Прокат стальной горячекатанный широкополосный универсальный. Сортамент» [2]:

$$b'_f = 200 \text{ мм} = 20 \text{ см}$$

При изменении сечения пояса должно выполняться условие

$$\frac{b_f}{b'_f} = \frac{260}{200} = 1,3. \quad (47)$$

Определяем фактические характеристики изменённого сечения:

$$J'_x = J_w + 2 \left[\frac{b'_f t_f^3}{12} + b'_f t_f \left(\frac{h_f}{2} \right)^2 \right] = 72900 + 2 \left[\frac{20 \cdot 3,6^3}{12} + 20 \cdot 3,6 \left(\frac{93,6}{2} \right)^2 \right] = 388450,08 \text{ см}^4 \quad (48)$$

$$W'_x = \frac{J'_x}{h/2} = \frac{388450,08}{97,2/2} = 7992,8 \text{ см}^3. \quad (49)$$

Проверяем прочность измененного сечения в двух точках А и Б (рис. 2.4).

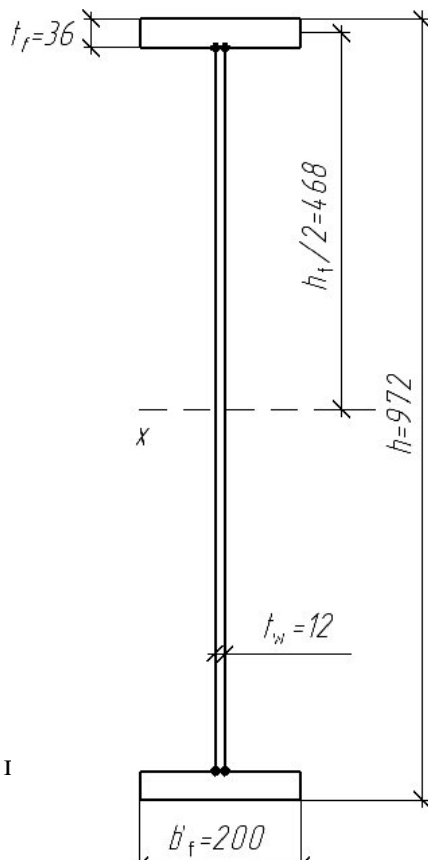


Рис. 2.4. Изменённое сечение главной балки

Нормальные напряжения:

$$\sigma_A = \frac{M' \cdot 100}{W'_x} = \frac{116361,5}{7992,8} = 14,558 \text{ кН/см}^2 \ll R_{wy} = 20,4 \text{ кН/см}^2 \quad (50)$$

Условие прочности выполняется;

$$\sigma_B = \frac{\sigma_A h_w}{h} = \frac{14,558 \cdot 90}{97,2} = 13,48 \text{ кН/см}^2 \ll R_{wy} = 20,4 \text{ кН/см}^2. \quad (51)$$

Условие прочности выполняется.

Статический момент измененного пояса относительно нейтральной оси

$$S'_f = b'_f t_f \frac{h_f}{2} = 20 \cdot 3,6 \cdot 46,8 = 3369,6 \text{ см}^3. \quad (52)$$

Касательные напряжения:

$$\tau_A = \frac{Q' S'_x}{J'_x t_w} \leq R_s, \quad (53)$$

ие срезу,

$$= 13,92 \text{ кН/см}^2 \quad (54)$$

$$\tau_A = \frac{557,086 \cdot 4584,6}{388450,08 \cdot 1,2} = 5,479 \text{ кН/см}^2 < R_s = 13,92 \text{ кН/см}^2 \quad (55)$$

$$\tau_B = \frac{Q' S'_f}{J'_x t_w} = \frac{557,086 \cdot 3369,6}{388450,08 \cdot 1,2} = 4,027 \text{ кН/см}^2 < R_s = 13,92 \text{ кН/см}^2. \quad (56)$$

Приведённые напряжения проверяем в точке Б:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_B^2 + 3\tau_B^2} \leq 1,15R_y; \quad (57)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{13,48^2 + 3 \cdot 4,027^2} = 15,178 \text{ кН/см}^2 < 1,15R_y = 27,6 \text{ кН/см}^2;$$

Условие прочности выполняется в обои х сечениях.

2.5. Расчёт узла сопряжения балок настилаи вспомогательных балок с главными балками

В целях экономии строительной высоты перекрытия стык балок осуществляем пониженным. Вспомогательные балки подвешиваем к рёбрам жёсткости главных балок, а балки настила опираем на верхние пояса главных и вспомогательных балок. Сопряжение балок показано на рис. 2.5.

Стык производим при помощи болтов нормальной точности класса 5.6 диаметром 20 мм, диаметр отверстий под болты 23 мм.

Расчётные сопротивления болтов срезу и смятию принимаем:

$$R_{bs} = 190 \text{ МПа} = 19 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}; R_{bp} = 515 \text{ МПа} = 51,5 \text{ кН/см}^2.$$

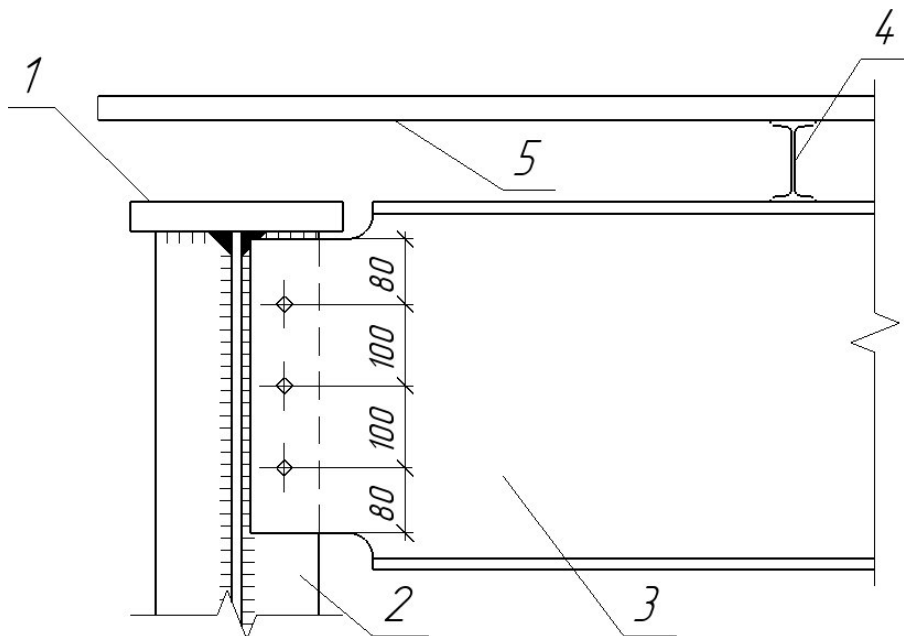


Рис. 2.5. Узел сопряжения балок: 1 – главная балка; 2 – ребро жёсткости главной балки; 3 – вспомогательная балка; 4 – балка настила; 5 – стальной настил

Рассчитаем несущую способность одного болта на срез, кН:

$$N_{bs} = R_{bs} \frac{\pi d_0^2}{4} \gamma_b, \quad (58)$$

где d_0 – диаметр отверстия под болты, $d_0 = 23 \text{ мм}$; γ_b – коэффициент условий работы, $\gamma_b = 0,9$;

$$N_{bs} = 19 \cdot \frac{\pi \cdot 2,3^2}{4} \cdot 0,9 = 71 \text{ кН.}$$

Несущая способность на смятие, кН

$$N_{bp} = R_{bp} d_0 t_{\min} \gamma_b, \quad (59)$$

где t_{\min} – минимальная толщина соединяемых элементов, принимается по толщине ребра равной 8 мм;

$$N_{bp} = 51,5 \cdot 2,3 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 85,3 \text{ кН.}$$

Количество болтов находим по минимальному значению несущей способности:

$$N_{\min} = N_{bs} = 71 \text{ кН.}$$

Болты воспринимают реакцию, т.е. усилие, возникающее на опоре вспомогательной балки $V_{в.б}$, кН:

$$V_{в.б} = \frac{q_{в.б} l_{в.б}}{2}, \quad (60)$$

где $q_{в.б}$ – расчетная нагрузка на вспомогательную балку (см п.1.2.2); $l_{в.б}$ – расчетная длина вспомогательной балки;

$$V_{в.б} = \frac{48,491 \cdot 6,8}{2} = 164,869 \text{ кН.}$$

Количество болтов определяем по формуле

$$n \geq \frac{V_{в.б}}{N_{\min}}, \quad (61)$$
$$n = \frac{164,869}{71} = 2,32 \approx 3.$$

Принимаем 3 болта и размещаем их вертикально по высоте балки на одинаковых расстояниях друг от друга.

2.6. Обеспечение местной устойчивости стенки главной балки

Местная устойчивость балки включает устойчивость поясов и устойчивость стенки.

Устойчивость поясов обеспечивается при конструировании сечения определенным соотношением размеров (п. 2.3).

Устойчивость стенки обеспечивается постановкой поперечных ребер жёсткости. Рёбра жёсткости служат опорой для крепления вспомогательных балок. Рёбра воспринимают местные напряжения от них, поэтому рёбра жёсткости ставим в сечениях, где примыкают вспомогательные балки в соответствии со схемой усложнённой балочной клетки (рис. 2.6).

Рассчитаем условную гибкость стенки:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{90}{1} \sqrt{\frac{24}{2,1 \cdot 10^4}} = 3,043. \quad (62)$$

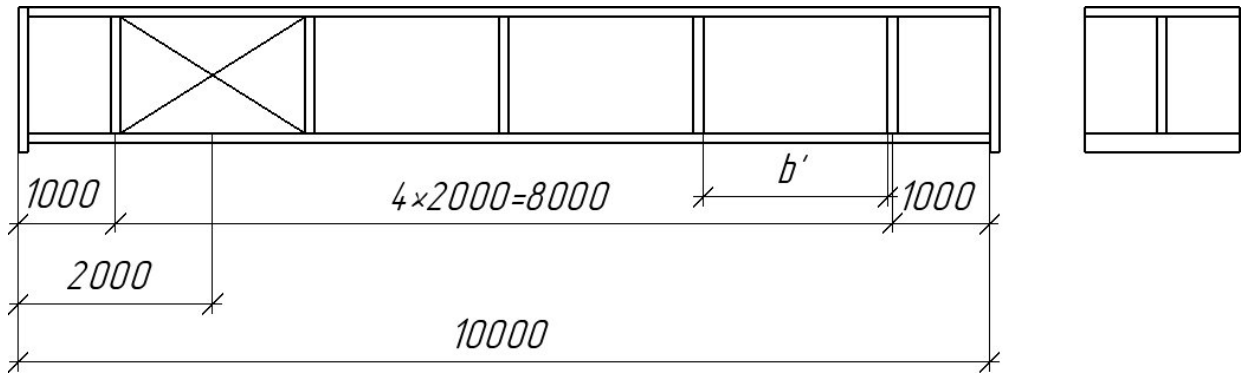


Рис. 2.6. Схема расположения рёбер жёсткости

Расчетный шаг рёбер жёсткости b зависит от величины условной гибкости:

$$\bar{\lambda}_w \leq 3,2, \text{ то } b \leq 2,5 h_w; \bar{\lambda}_w > 3,2, \text{ то } b \leq 2 h_w. \quad (63)$$

Проверяем соответствие принятого шага рёбер расчётным условиям:

$$\bar{\lambda}_w = 3,043 < 3,2, b \leq 2,5 h_w, b = 200 \text{ мм} < 2,5 h_w = 2,5 \cdot 90 = 225 \text{ мм};$$

следовательно, дополнительные рёбра жёсткости ненужны и схема расстановки остается прежней.

Производим расчёт пропорционального отсека местную устойчивость. Находим расстояние до середины отсека: $x_1 = 2 \text{ м}$.

Это расстояние совпало с местом изменения сечения ($x = 2 \text{ м}$), поэтому изгибающий момент и поперечную силу в данном сечении можно не вычислять.

В других случаях они вычисляются по аналогии с усилиями при изменении сечения:

$$M_{x1} = \frac{q x_1 (l - x_1)}{2} \quad (64)$$

$$Q_{x1} = q \left(\frac{l}{2} - x_1 \right) \quad (65)$$

$$M_{x1} = M' = 1163,615 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$Q_{x1} = Q' = 557,086 \text{ кН}$$

Нормальные напряжения:

$$\sigma_{x1} = \frac{M_{x1} \cdot 100}{W'_x} = \frac{1163,615 \cdot 100}{7992,8} = 14,558 \text{ кН/см}^2 \quad (66)$$

Касательные средние напряжения

$$\tau_{x1} = \frac{Q_{x1}}{h_w t_w} = \frac{557,086}{90 \cdot 1,2} = 5,158 \text{ кН/см}^2 \quad (67)$$

Критические нормальные напряжения, которые возникают при потере

устойчивости, кН/см²

$$\sigma_{cr} = \frac{C_{cr} R_y}{\bar{\lambda}_w^2}, \quad (68)$$

где C_{cr} – коэффициент, принимаемый в зависимости от δ , определяемого по формуле:

$$\delta = 0,8 \cdot \frac{b_f}{h_w} \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^3; \quad (69)$$

$b_f = b'_f$ для данного примера;

$$\delta = 0,8 \cdot \frac{20}{90} \left(\frac{3,6}{1,2} \right)^3 = 4,8.$$

Значение коэффициента C_{cr} для стенок балок (таблица 1).

Таблица 1 – Значение коэффициента C_{cr}

δ	$\leq 0,8$	1	2	4	6	10	≥ 30
C_{cr}	30	31,5	33,3	34,6	34,8	35,1	35,5

Проинтерполировав, получаем $C_{cr} = 34,68$.

Тогда

$$\sigma_{cr} = \frac{34,68 \cdot 24}{3,043^2} = 89,885 \text{ кН/см}^2$$

Определяем критические касательные напряжения, которые возникают при потере устойчивости, кН/см²

$$\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \frac{R_s}{\bar{\lambda}_w^2}, \quad (70)$$

где R_s – расчётное сопротивление срезу, $R_s = 0,58 R_y = 0,58 \cdot 24 = 13,92 \text{ кН/см}^2$;

μ – коэффициент, равный отношению большей стороны рассматриваемого отсека к меньшей стороне, $\mu = 200/90 = 2,22$.

Местные напряжения $\sigma_{loc} = 0$, так как между рёбрами вспомогательных балок нет.

$$\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{2,22^2} \right) \cdot \frac{13,92}{3,043^2} = 17,871 \text{ кН/см}^2.$$

Тогда

Устойчивость стенки считается обеспеченной, если соблюдается условие

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{x1}}{\sigma_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{x1}}{\tau_{cr}} \right)^2} \leq \gamma_c, \quad (71)$$

где γ_c – коэффициент условий работы конструкции, $\gamma_c = 0,9$;

$$\sqrt{\left(\frac{14,558}{89,885} \right)^2 + \left(\frac{5,158}{17,871} \right)^2} = 0,331 < \gamma_c = 0,9.$$

В данном отсеке условие устойчивости стенки выполняется.

Проверку устойчивости центрального отсека производим с учетом пластических деформаций по формуле

$$M_{\max} \cdot 100 \leq R_y \gamma_c h_w^2 t_w \left(\frac{A_f}{A_w} + \alpha \right), \quad (72)$$

где $\alpha = 0,24 - 0,15 \left(\frac{\tau}{R_s} \right) - 8,5 \cdot 10^{-3} (\bar{\lambda}_w - 2,2)^2$; так как в данном сечении $\tau = 0$, то $\alpha = 0,24 - 8,5 \cdot 10^{-3} (\bar{\lambda}_w - 2,2)^2 = 0,24 - 8,5 \cdot 10^{-3} (3,043 - 2,2)^2 = 0,234$; A_f – площадь пояса, см^2 , $A_f = 26 \cdot 3,6 = 93,6 \text{ см}^2$; A_w – площадь стенки, см^2 , $A_w = 90 \cdot 1 = 90 \text{ см}^2$;

$$2091,163 \cdot 100 = 209116,3 \text{ кН} \cdot \text{см} < 24 \cdot 1 \cdot 90^2 \cdot 1 \left(\frac{93,6}{90} + 0,234 \right) = 247665,6 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

Условие устойчивости выполняется.

2.7. Проверка местных напряжений в стенках балок

Местные напряжения возникают в стенках тех балок, на которые сверху опираются другие балки (этажное сопряжение).

В курсовом проекте такое опирание существует между балками настила и вспомогательными балками. В главных балках местных напряжений в стенках не возникает, так как вспомогательные балки подвешиваются на рёбра жёсткости, а между рёбрами балок нет.

Произведём расчёт местных напряжений в стенках вспомогательных балок (рис. 2.7).

Давление от балки настила на вспомогательную балку составляет две опорных реакции:

$$F = 2Q_{б.н} = \frac{q_{б.н} l_{б.н} \cdot 2}{2}, \quad (73)$$

где $q_{б.н}$ – расчётная нагрузка

– ~~равно~~ $16,386 \text{ кН/м}$; $l_{б.н}$

на балку настила (п. 1.2.1),

балки настила, $l_{б.н} = 2 \text{ м}$;

$$F = \frac{16,386 \cdot 2 \cdot 2}{2} = 32,77 \text{ кН}$$

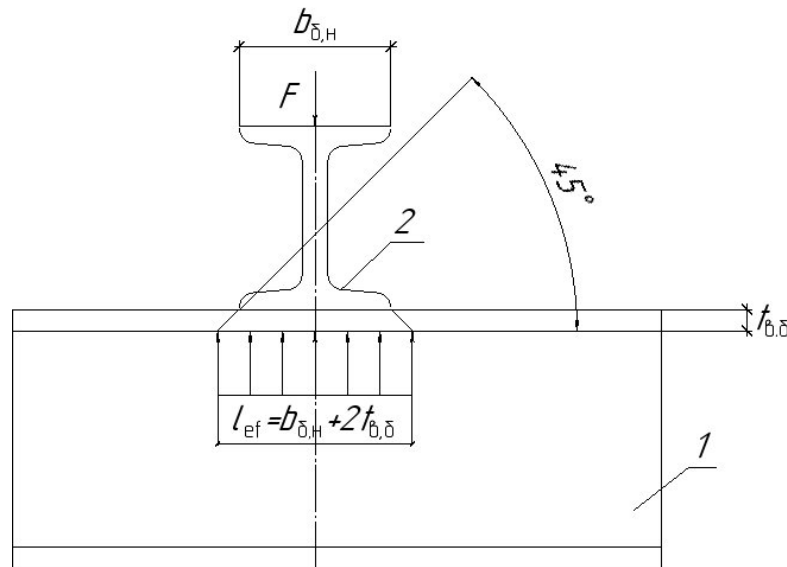


Рис. 2.7. Распределение местных напряжений: 1 - вспомогательная балка; 2 - балка настила

Местные напряжения определяются по формуле

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{l_{ef} t_w} \leq R_y, \quad (74)$$

где l_{ef} – расчётная длина, на которой возникают местные напряжения, $l_{ef} = b_{б.н} + 2t_{б.б}$, см; $b_{б.н}$ – толщина пояса балки настила; $t_{б.б}$ – толщина пояса вспомогательной балки; t_w – толщина стенки вспомогательной балки.

В соответствии с сортаментом $b_{б.н} = 55$ см; $t_{б.б} = 15,2$ мм; $t_w = 12$ мм; тогда

$$l_{ef} = 5,5 + 2 \cdot 1,52 = 8,54 \text{ см};$$

$$\sigma_{loc} = \frac{32,77}{8,54 \cdot 1,2} = 3,198 \text{ кН/см}^2 < R_y = 24 \text{ кН/см}^2.$$

Прочность обеспечена.

2.8. Обеспечение общей устойчивости главной балки

Общая устойчивость главной балки считается обеспеченной, если выполняются условия:

1) верхние пояса балок связываются между собой жёстким настилом, непрерывно опирающимся на балки, – в нашем случае это условие выполняется;

2) отношение расчётного пролёта балки к ширине пояса должно быть ограничено в соответствии с СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» [6]:

$$\frac{l_{ef}}{b_f} < \delta \left[0,41 + 0,0032 \cdot \frac{b_f}{t_f} + \left(0,73 - 0,016 \cdot \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_f} \right] \sqrt{\frac{E}{R_y}}, \quad (75)$$

где l_{ef} – расчётный пролёт главной балки при расчетах на устойчивость, принимается равным расстоянию между балками либо связями, раскрепляющими данную балку из

плоскости, в нашей работе $l_{ef} = b = 200 \text{ см};$

работающих упруго,
принимается $\delta = 1,0;$

коэффициент упругости для сечений,

$$\frac{200}{26} = 7,692 < 1,0 \left[0,41 + 0,0032 \cdot \frac{26}{3,6} + \left(0,73 - 0,016 \cdot \frac{26}{3,6} \right) \frac{26}{93,6} \right] \sqrt{\frac{21,10^4}{24}} = 17,86.$$

Общая устойчивость балки обеспечена.

2.9. Расчёт угловых сварных швов между поясом и стенкой балки

Принимаем для стали марки С255 по ГОСТ 9467-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей» [7] электроды типа с расчётным сопротивлением $R_{wf} = 200 \text{ МПа}$.

Для ручной сварки принимаем коэффициент сварки $\beta = 0,7$. Определяем катет шва из формулы для определения касательных напряжений

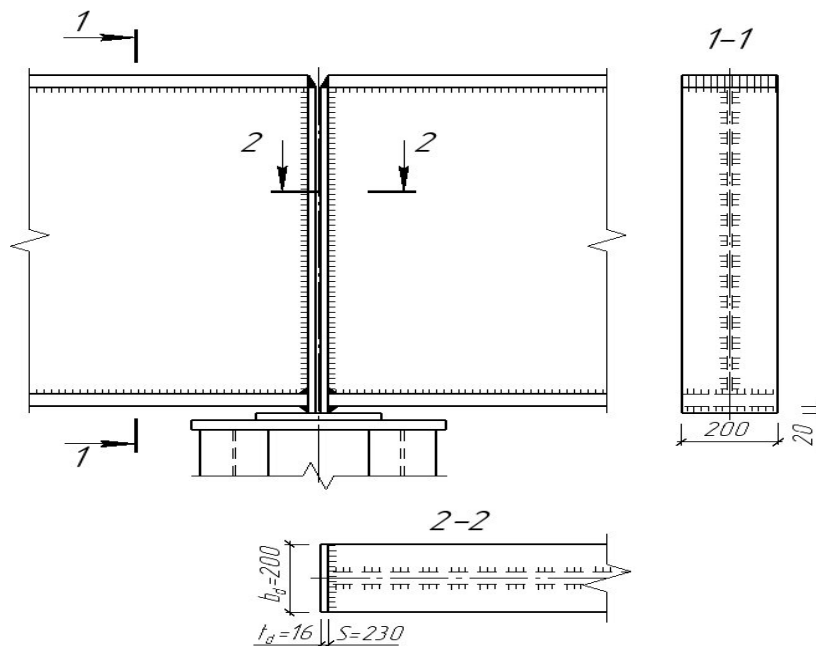
$$k_{f1\text{треб}} \geq \frac{Q_{\max} S'_f}{J'_x \cdot 2\beta_f R_{wf}}; \tag{76}$$

$$k_{f1\text{треб}} = \frac{836,465 \cdot 3369,6}{388450,08 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 20} = 0,259 \text{ см} = 2,59 \text{ мм}.$$

В соответствии с ГОСТ 9467-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей» [7] по условию свариваемости принимаем катет шва $k_f = 6 \text{ мм}$.

2.10. Расчёт и конструирование опорного узла главной балки

Опираение главной балки на колонну производится сверху навыступающие части



опорных рёбер (рис. 2.8).

Рис. 2.8. Опорная часть главной балки

Требуемая площадь сечения опорного ребра

$$A_d = \frac{Q_{\max}}{R_p}, \quad (77)$$

где Q_{\max} – опорная реакция в главной балке; R_p – расчётное сопротивление смятию торцовой поверхности,

$$R_p = \frac{R_{\text{unn}}}{\gamma_m} = \frac{37}{1,05} = 35,238 \text{ кН/см}^2; \quad (78)$$

R_{unn} – нормативное сопротивление по пределу прочности; γ_m – коэффициент надёжности по материалу, $\gamma_m = 1,05$;

$$A_d = \frac{Q_{\max}}{R_p} = \frac{836,465}{35,238} = 23,738 \text{ см}^2. \quad (79)$$

Требуемая толщина опорного ребра

$$t_d = \frac{A_d}{b_d} = \frac{23,738}{20} = 1,187 \text{ см}, \quad (80)$$

где $b_d = b'_f$.

Окончательно t_d принимается по сортаменту на листовую сталь, $t_d = 16 \text{ мм}$.

Кроме смятия торца, опорное ребро работает на сжатие, и поэтому необходимо проверить устойчивость условной стойки. В сечение условной стойки, кроме сечения самого опорного ребра, входит часть стенки главной балки. Длину этой части определяем по формуле

$$s = 0,65 t_w \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 0,65 \cdot 1,2 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^4}{24}} = 23,072 \text{ см}. \quad (81)$$

Площадь сечения условной стойки находим следующим образом:

$$A_s = b_d t_d + t_w s = 20 \cdot 1,6 + 1,2 \cdot 23,072 = 59,686 \text{ см}^2. \quad (82)$$

Проверка устойчивости сводится к выполнению условия

$$\sigma = \frac{Q_{\max}}{\varphi A_s} \leq R_y, \quad (83)$$

где φ – коэффициент продольного изгиба (определяется в зависимости от R_y и λ_z).

Таким образом, необходимо определить гибкость:

$$\lambda_z = \frac{h_w}{i_z} = \frac{90}{4,227} = 21,292, \quad (84)$$

где i_z – радиус инерции сечения условной стойки,

$$i_z = \sqrt{\frac{J_z}{A_s}} = \sqrt{\frac{1066,67}{59,686}} = 4,227 \text{ см}; \quad (85)$$

J_z – момент инерции сечения условной стойки,

$$J_z = \frac{t_d b_d^3}{12} = \frac{16 \cdot 20^3}{12} = 1066,67 \text{ см}^4. \quad (86)$$

После интерполяции принимаем $\varphi = 0,958$ и рассчитываем

$$\sigma = \frac{Q_{\max}}{\varphi A_g} = \frac{836,465}{0,958 \cdot 59,686} = 14,629 \text{ кН/см}^2 < R_y = 24 \text{ кН/см}^2. \quad (87)$$

2.11. Расчёт и конструирование укрупнительного стыка главной балки

Стык проектируется в середине пролёта балки и осуществляется при помощи 3 накладок пояса и парных накладок стенки на высокопрочных болтах (рис. 2.9).

Размеры накладок, перекрывающих пояса, определяются следующим образом:

~ суммарная площадь трёх накладок пояса должна быть не менее его площади:
 $\Sigma A_n \geq A_f$
 длина накладок определяется из условия расстановки узлов. Высокопрочные болты принимаются $d = 20$ мм, марки 40X «Селект» современным нормативным сопротивлением $R_{bun} = 110 \text{ кН/см}^2$;

~ расчётная несущая способность болта на одну плоскость трения

$$Q_{bh} = \frac{0,7 R_{bun} \gamma_b A_{bn} \mu}{\gamma_n} = \frac{0,7 \cdot 110 \cdot 2,45 \cdot 0,42}{1,02} = 77,679 \text{ кН}, \quad (88)$$

где γ_b – коэффициент, учитывающий работу болта; A_{bn} – площадь сечения болта нетто;

μ – коэффициент трения; γ_n – коэффициент, учитывающий работу болта.

Усилие, которое может возникнуть в верхнем поясе,

$$N = R_y A = 24 \cdot 26 \cdot 3,6 = 2246,4 \text{ кН}. \quad (89)$$

Количество болтов с одной стороны стыка

$$n \geq \frac{N}{\gamma_c m_{тр} Q_{bh}}, \quad (90)$$

$$n = \frac{2246,4}{1 \cdot 2 \cdot 77,679} = 14,46 \approx 16 \text{ шт.},$$

где γ_c – коэффициент, учитывающий назначение конструкции; $m_{тр}$ – число плоскостей трения в стыке пояса, $m_{тр} = 2$.

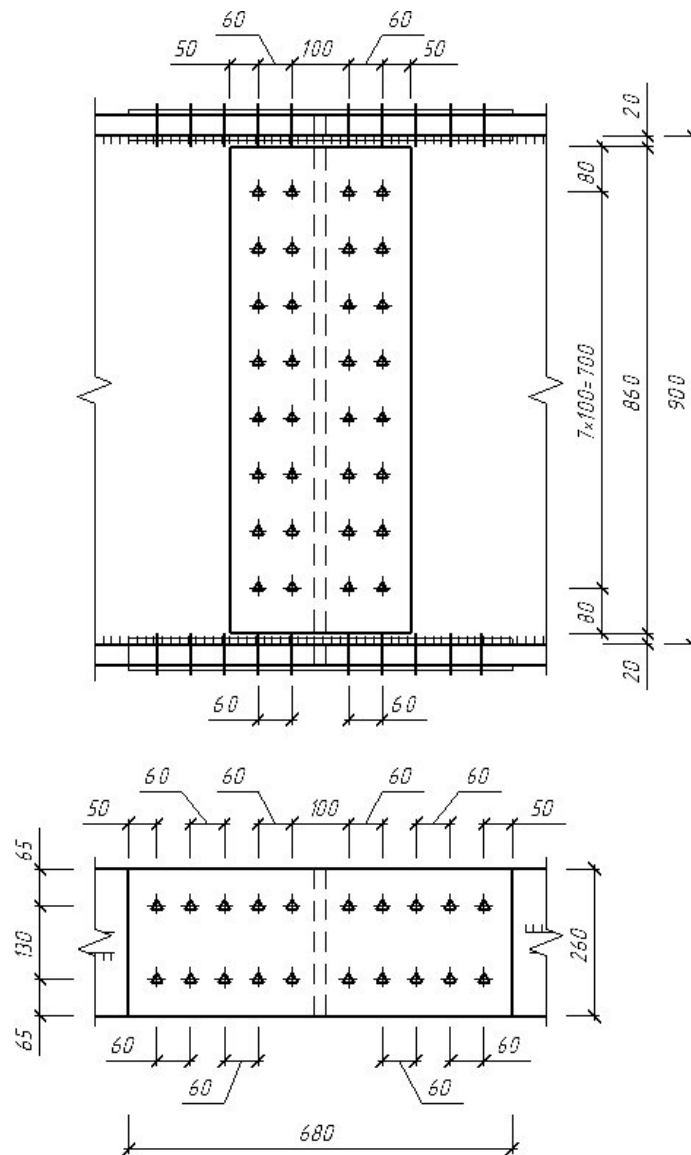


Рис. 2.9. Размещение болтов на монтажном стыке главной балки

Число болтов округляется в большую сторону, и болты расставляются в два ряда с каждой стороны стыка пояса и по разные стороны стыка стенки. Окончательная длина накладки должна быть кратна 10 мм.

Изгибающий момент, воспринимаемый стенкой,

$$M_w = \frac{M_{\max} J_w}{J_x} = \frac{2091,163 \cdot 72900}{482969,088} = 315,643 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (91)$$

Болты в стыке расставляются вертикальными и горизонтальными рядами. Максимально нагруженные болты находятся вдали от нейтральной оси рядов (горизонтальных). Максимальное усилие в наиболее нагруженном болте (должно быть

$$N_{\max} \leq m_{\text{тр}} Q_{bh} = 155,358):$$

$$N_{\max} = \frac{M_w h_{\max}}{m \sum h_i^2}, \quad (92)$$

где h_{\max} – расстояние между наиболее удалёнными от нейтральной оси горизонтальными рядами; m – число вертикальных рядов болтов с каждой стороны стыка; $\sum h_i^2$ – сумма квадратов расстояний между равноудалёнными от нейтральной оси горизонтальными рядами,

$$\sum h_i^2 = h_1^2 + h_2^2 + \dots + h_{\max}^2 = 0,1^2 + 0,3^2 + 0,5^2 + 0,7^2 = 0,84 \text{ м}^2; \quad (93)$$

$$N_{\max} = \frac{315,643 \cdot 0,7}{2 \cdot 0,84} = 131,518 \text{ кН} < m_{\text{тр}} Q_{\text{bh}} = 155,358 \text{ кН};$$

Условие прочности выполнено.

Размеры накладок определяются из условия расстановки болтов.

3. РАСЧЁТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОЙ КОЛОННЫ

Колонна сквозного сечения проектируется составной из двух ветвей, соединенных междусобой планками (рис. 3.1).

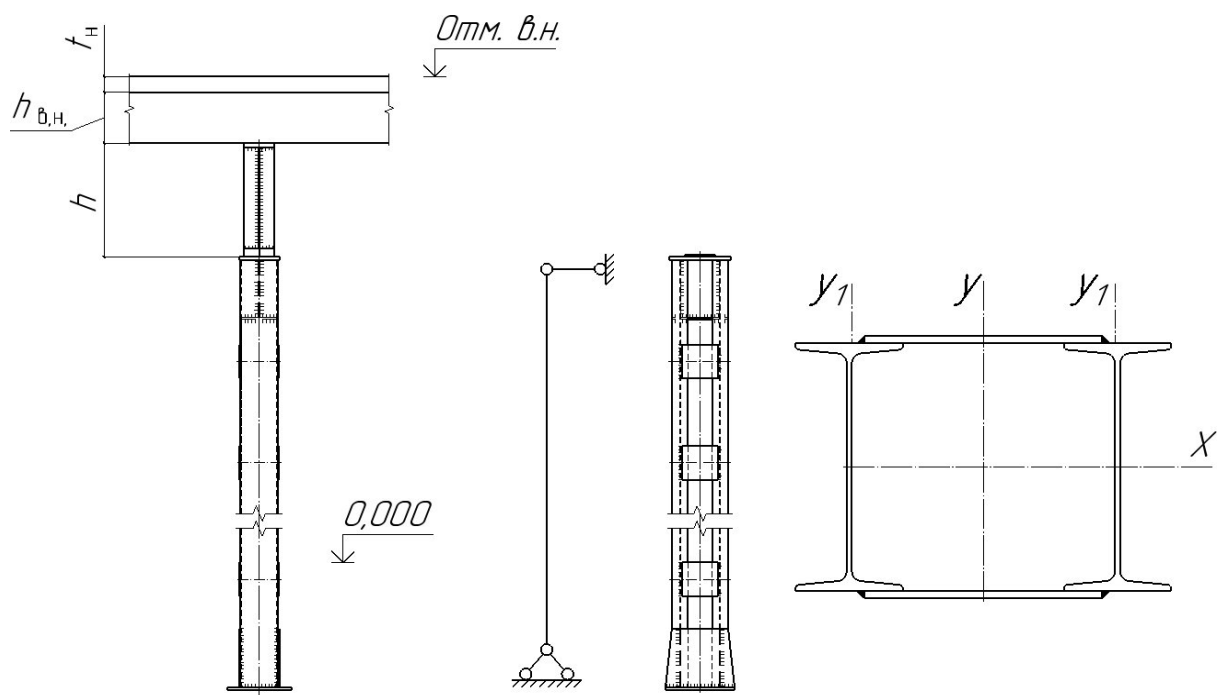


Рис. 3.1. Колонна сквозного сечения

Сечение каждой ветви из прокатного двутавра.

3.1. Определение расчётной нагрузки

Расчетную нагрузку на колонну определяем по формуле

$$N = 2Q_{\max} + G, \quad (94)$$

где G – вес главной балки, $G = A \rho_{\text{ст}} l = 0,02952 \cdot 78,5 \cdot 10 = 23,173 \text{ кН}$; A – площадь сечения главной балки, м^2 , $A = 26 \cdot 3,6 \cdot 2 + 90 \cdot 1,2 = 295,2 \text{ см}^2 = 0,02952 \text{ м}^2$;

$\rho_{ст} = 78,5 \text{ кН/м}^3$; $l = 10 \text{ м}$ – пролёт главной балки;

$$N = 2 \cdot 836,465 + 23,173 = 1696,103 \text{ кН.}$$

Расчётные длины колонны в плоскости и из плоскости конструкции:

$$l_x = \mu_x l; \quad (95)$$

$$l_y = \mu_y l, \quad (96)$$

где μ_x, μ_y – коэффициенты защемления балки, $\mu_x = \mu_y = 1$.

Фактическая длина колонны:

$$l_k = \text{Отм}_{\text{в.н}} - t_n - h_{б.н} - h + h_з = 6,5 - 0,01 - 0,1 - 0,972 + 1 = 6,418 \text{ м}, \quad (97)$$

где $\text{Отм}_{\text{в.н}}$ – отметка верха настила; t_n – толщина настила; $h_{б.н}$ – высота балки настила; h – высота главной балки; $h_з$ – глубина защемления колонны.

Подбор сечения колонны

Требуемая площадь сечения

$$A_{\text{треб}} = \frac{N}{\varphi R_y} = \frac{1696,103}{0,7 \cdot 24} = 100,959 \text{ см}^2, \quad (98)$$

где φ – предельное значение коэффициента продольного изгиба, $\varphi = 0,7 - 0,8$.

Требуемая площадь одной ветви

$$A_{\text{треб}1} = \frac{A_{\text{треб}}}{2} = \frac{100,959}{2} = 50,48 \text{ см}^2. \quad (99)$$

По сортаменту подбираем двутавр I №33 $cJ_x = 9840 \text{ см}^4$, $J_{y1} = 419 \text{ см}^4$, $m = 42,2 \text{ кг/м}$, $A_1 = 53,8 \text{ см}^2$, $i_x = 13,5 \text{ см}$, $i_y = 2,79 \text{ см}$, $b_1 = 140 \text{ мм}$.

Гибкость колонны относительно материальной оси

$$\lambda_x = \frac{l_k}{i_x} = \frac{641,8}{13,5} = 47,541 < \lambda_u = 120. \quad (100)$$

Приведённая гибкость сечения

$$\lambda_{\text{эф}} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}, \quad (101)$$

λ_1 – гибкость отдельной ветви, задается в пределах $\lambda_1 = 20 \dots 40$.

Принимаем $\lambda_1 = 30$ и рассчитываем требуемую гибкость относительно свободной оси

$$\lambda_{y \text{ треб}} = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_1^2} = \sqrt{47,541^2 - 30^2} = 36,88.$$

С другой стороны, λ_y определяется следующим образом:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_{y \text{ треб}}}.$$

Отсюда требуемый радиус
инерции сечения

$$i_{y \text{ треб}} = \frac{l_y}{\lambda_{y \text{ треб}}} = \frac{641,8}{36,88} = 17,402 \text{ см.}$$

Требуемая ширина сечения

$$b_{\text{треб}} = \frac{i_{y \text{ треб}}}{\alpha_y} = \frac{17,402}{0,52} = 33,465 \text{ см,} \quad (105)$$

где α_y – коэффициент, зависящий от формы сечения, принимается $\alpha_y = 0,52$ для двутаврового сечения, ($\alpha_y = 0,44$ для швеллера).

Принимаем ширину сечения колонны $b = 35$ см и проверяем возможность размещения на ней минимального зазора между ветвями $\Delta = 150$ мм:

$$\Delta = 35 - 14 = 21 \text{ см} > \Delta_{\text{min}} = 15 \text{ см,}$$

что достаточно, оставляем сечение шириной 35 см (рис. 3.2).

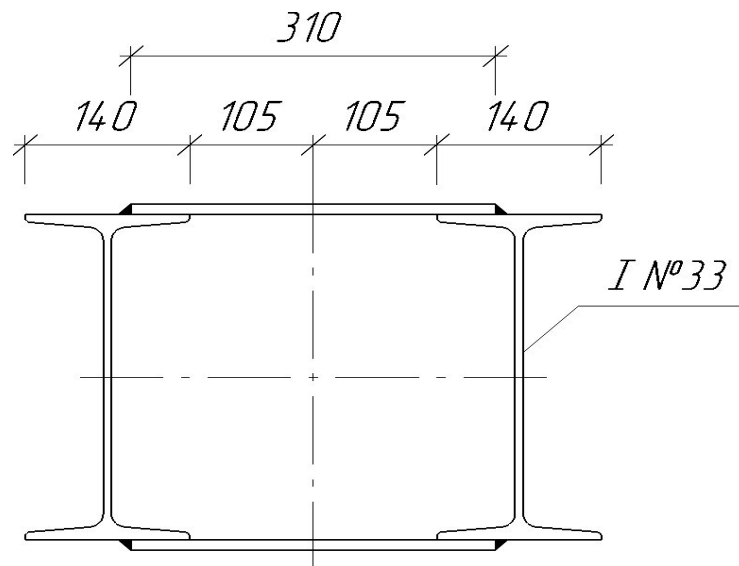


Рис. 3.2. Поперечное сечение колонны сквозного сечения

Определяем геометрические характеристики выбранного сечения:

$$I_y = I_{y1} + A_1 \left(\frac{b}{2}\right)^2 = 419 + 53,8 \left(\frac{35}{2}\right)^2 = 16895,25 \text{ см}^4; \quad (106)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_1}} = \sqrt{\frac{16895,25}{53,8}} = 17,721 \text{ см}; \quad (107)$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{641,8}{17,721} = 36,217 < \lambda_x = 47,541. \quad (108)$$

Проверку производим по большей из гибкостей λ_x .

Проверка устойчивости выполняется по формуле

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} = \frac{1696,103}{0,862 \cdot 2 \cdot 53,8} = 18,287 \text{ кН/см}^2 < R_y = 24 \text{ кН/см}^2. \quad (109)$$

где A — площадь двух ветвей колонны, $A = 2A_1$; $\varphi = 0,862$.

Устойчивость колонны обеспечена.

3.2. Расчёт и конструирование решётки колонны

Ветви колонны соединяем при помощи листовых планок шириной $d_{пл} = 30 \text{ см}$, приваренных к ветвям колонны ручной сваркой электродами Э46 (рис. 3.3).

Расстояние между планками определяется по предельной гибкости ветви, которую мы приняли $\lambda_1 = 30$:

$$l_1 \leq \lambda_1 i_{y1}, \quad (110)$$

$$l_1 = 60 \text{ см} < \lambda_1 i_{y1} = 30 \cdot 2,79 = 83,7 \text{ см}.$$

Принимаем $l_1 = 60 \text{ см}, l = 90 \text{ см}$

Определяем условную поперечную силу, которая приходится на две плоскости планок:

$$Q_{fic} = 7,15 \cdot 10^{-6} \left(2330 - \frac{E}{R_y} \right) \frac{N}{\varphi} = 7,15 \cdot 10^{-6} \left(2330 - \frac{2,1 \cdot 10^4}{24} \right) \frac{1696,103}{0,862} \quad (111)$$

Усилия, действующие на 1 планку:

$$Q_{пл} = \frac{Q_{fic}}{2} = \frac{20,47}{2} = 10,235 \text{ кН}; \quad (112)$$

$$F_{пл} = \frac{Q_{пл} l}{b} = \frac{10,235 \cdot 90}{35} = 26,319 \text{ кН} \quad (113)$$

$$M_{пл} = \frac{Q_{пл} l^2}{2} = \frac{10,235 \cdot 90^2}{2} = 460,575 \text{ кН} \cdot \text{см}. \quad (114)$$

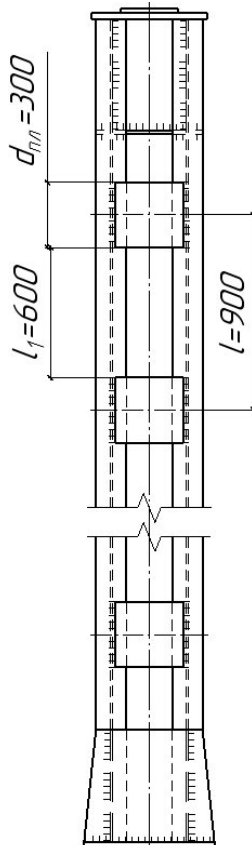


Рис. 5.5. Решетка колонны

Касательное напряжение в сварном шве

$$\tau_{wf} = \frac{F_{пл}}{2d_{пл}k_f\beta_f} \leq R_{wf}, \quad (115)$$

где $d_{пл}$ – ширина планки, см; k_f – высота катета сварного шва, $k_f = 0,6$ см; β_f – коэффициент сварки, $\beta_f = 0,7$; R_{wf} – расчетное сопротивление углового сварного шва по металлу шва, $R_{wf} = 20$ кН/см²;

$$\begin{aligned} \tau_{wf} &= \frac{26,319}{2 \cdot 30 \cdot 0,6 \cdot 0,7} \\ &= 1,044 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_{wf} \\ &= 20 \text{ кН/см}^2. \end{aligned}$$

Нормальное напряжение в сварном шве

$$\sigma_{wf} = \frac{M_{пл} \cdot 6}{2(d_{пл}^2 k_f \beta_f)} = \frac{460,575 \cdot 6}{2 \cdot 30^2 \cdot 0,7 \cdot 0,6} = 3,655 \text{ кН/см}^2 < R_{wf} = 20 \text{ кН/см}^2. \quad (116)$$

Приведенные напряжения в шве

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{wf}^2 + \tau_{wf}^2} = \sqrt{3,655^2 + 1,044^2} = 3,801 \text{ кН/см}^2 < R_{wf} = 20 \text{ кН/см}^2 \quad (117)$$

Прочность швов обеспечена.

3.3. Расчёт оголовка колонны

Эскиз оголовка колонны приводится на рис.3.5.

Толщину ребра оголовка определяем из условия смятия ребра опорной реакцией главной балки:

$$t_{p, \text{треб}} = \frac{N}{b_p R_p} = \frac{1696,103}{28 \cdot 37} = 1,637 \text{ см}, \quad (118)$$

где N – расчётная нагрузка на колонну; b_p – ширина ребра оголовка, $b_p = 28 \text{ см}$; R_p – расчётное сопротивление смятию торцевой поверхности опорного ребра главной балки.

Принимаем $t_p = 17 \text{ мм}$.

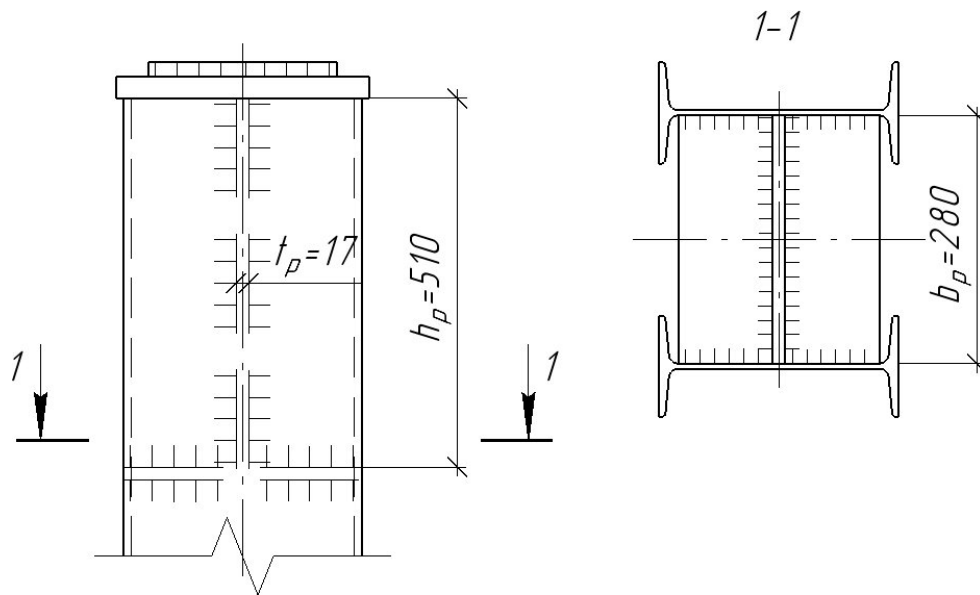


Рис. 3.4. Оголовок колонны

Высоту ребра определяем по условию прочности сварных швов:

$$h_p = \frac{N}{4k_f \beta_f R_{wf}} + 1 = \frac{1696,103}{4 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 20} + 1 = 50,479 \text{ см}. \quad (119)$$

Принимаем высоту ребра 51 см, толщину плиты оголовка $t_{пл} = 30 \text{ мм}$.

3.4. Расчёт и конструирование базы колонны

Нагрузку на базу принимаем с учетом веса колонны (двух ветвей) $m = 42,2$ кг/м:

$$N_6 = N + \frac{2ml}{100} = 1696,103 + \frac{2 \cdot 42,2 \cdot 6,418}{100} = 1701,52 \text{ кН.} \quad (120)$$

Требуемая площадь опорной плиты

$$A_{\text{треб}} = \frac{N_6}{R_{\phi}} = \frac{1701,52}{0,9} = 1890,578 \text{ см}^2, \quad (121)$$

где R_{ϕ} – расчетное сопротивление бетона фундамента класса В12,5;
 $R_{\phi} = R_b \xi = 0,75 \cdot 1,2 = 0,9$ кН/см²; R_b – расчетное сопротивление бетона на сжатие, кН/см²;
 ξ – коэффициент.

Конструктивно приняв $t_{\text{трав}} = 12$ мм, определяем один из размеров плиты (рис. 3.4):

$$l_{\text{пл}} = 2a + b, \quad (122)$$

где a – свес плиты, минимальный свес плиты может быть

$$a = \frac{b_1}{2} + 50 = \frac{140}{2} + 50 = 120 \text{ мм};$$

b_1 – ширина сечения колонны; b_1 – ширина полки двутавра ветви.

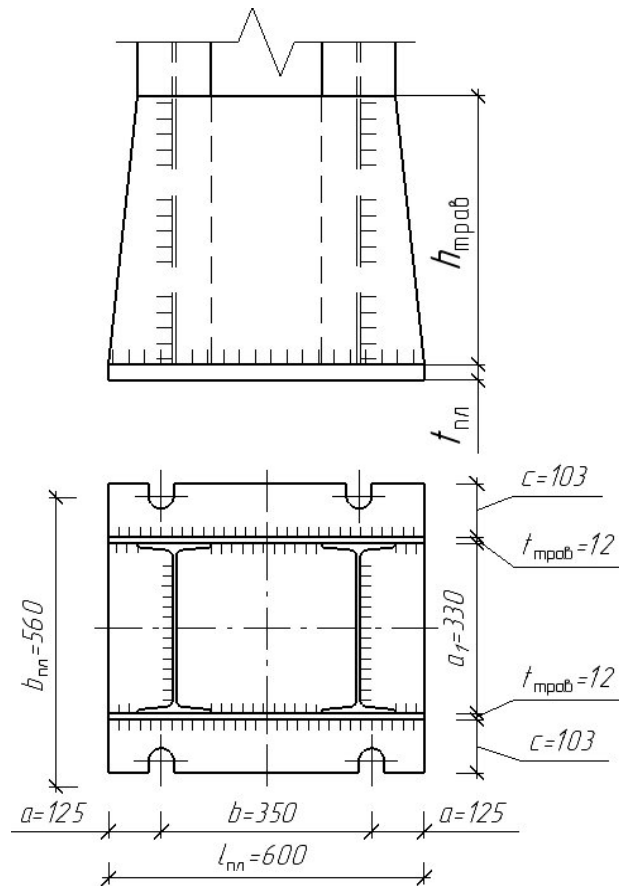


Рис. 3.5. База колонны

Принимаема = 125 мм, тогда

$$l_{пл} = 2 \cdot 125 + 350 = 600 \text{ мм.}$$

Другой размер определяем из требуемой площади плиты:

$$b_{пл} = \frac{A_{треб}}{l_{пл}} = \frac{1890,578}{60} = 32 \text{ см.} \quad (123)$$

Проверяем достаточность этого размера для размещения ветвей колонны. Принимаем минимальный свес плиты $c = 100$ мм, тогда

$$b_{пл} \geq a_1 + 2t_{трав} + 2c, \quad (124)$$

$$b_{пл} = 32 \text{ см} < a_1 + 2t_{трав} + 2c = 32 + 2 \cdot 1,2 + 2 \cdot 10 = 54,4 \text{ см.}$$

Колонна не размещается на плите шириной 32см. Принимаем размер
Уточняем свес плиты

$$c = \frac{560 - 330 - 2 \cdot 12}{2} = 103 \text{ мм.}$$

Разбиваем плиту на участки в зависимости от их защемления и определяем моменты на этих участках:

$$M_1 = \alpha \sigma b^2 = 0,048 \cdot 0,506 \cdot 35^2 = 29,75 \text{ кН;} \quad (125)$$

$$\frac{a_1}{b} = \frac{330}{350} = 0,94; \quad (126)$$

$$M_2 = \beta \sigma a_1^2 = 0,06 \cdot 0,506 \cdot 33^2 = 33,06 \text{ кН;} \quad (127)$$

$$\frac{a}{a_1} = \frac{125}{330} = 0,38; \quad (128)$$

$$M_3 = \frac{\sigma c^2}{2} = \frac{0,506 \cdot 10,3^2}{2} = 26,84 \text{ кН,} \quad (129)$$

где σ – напряжение под плитой,

$$\sigma = \frac{N_6}{l_{пл} b_{пл}} = \frac{1701,52}{60 \cdot 56} = 0,506 \text{ кН/см}^2. \quad (130)$$

Коэффициенты α для плит, опертых по четырем сторонам приведены в таблице 2.

Таблица 2 – К расчету опорной плиты при опирании плиты по четырем сторонам

a_1/b	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	>2
α	0,048	0,055	0,063	0,069	0,075	0,081	0,086	0,091	0,094	0,098	0,1	0,125

Здесь a_1 – длинная сторона в отсеке 1, b – короткая сторона в отсеке 1.

Коэффициенты β для плит, опертых по трем сторонам приведены в таблицы 3.

Таблица 3 – К расчету опорной плиты при опирании плиты по трем сторонам

a/a_1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	2,0	>2
β	0,06	0,074	0,086	0,097	0,107	0,112	0,120	0,126	0,132	0,133

Здесь a_1 – длина свободной стороны в отсеке 2, a – длина стороны, перпендикулярной свободной.

Требуемая толщина плиты

$$t_{\text{пл.треб}} \geq \sqrt{\frac{6M_{\text{max}}}{R_y}}, \quad (131)$$

$$t_{\text{пл.треб}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 33,06}{24}} = 2,87 \text{ см.}$$

Принимаем $t_{\text{пл}} = 30$ мм.

Толщина плиты не должна превышать 50 мм. Если это условие не выполняется, изменяют конструкцию базы, добавляя рёбра жёсткости.

Высоту траверсы принимаем из условия прочности на срез угловых сварных швов:

$$h_{\text{трав}} = \frac{N_{\delta}}{4k_f \beta_f R_{wf}} + 1 = \frac{1701,52}{4 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 20} + 1 = 51,64 \text{ см,} \quad (132)$$

где 1 – учет неперова в сварном шве, см. Принимаем высоту траверсы 52 см

Порядок оформления пояснительной записки курсовой работы

Пояснительная записка курсовой работы выполняется на компьютере на стандартных листах А4, на которые нанесены рамки рабочего поля документа. Эти рамки отстоят от внешней стороны листа слева на 20 мм, а от других сторон – на 5 мм.

На листе содержания вычерчивается угловой штамп основной подписи для текстовых документов, на остальных листах – угловой штамп для последующих листов. Ведомость проёмов, ведомость перемычек, ведомость отделки помещений, экспликация полов оформляются в табличной форме.

В пояснительной записке можно использовать общепринятые сокращения русских слов и словосочетаний. Текст пояснительной записки делят на разделы, подразделы и пункты.

Заголовки разделов размещают симметрично тексту. Заголовки подразделов пишут с абзаца. На странице должно **располагаться 28-30 строк. Междустрочный интервал – 1,5, шрифт текста – 14 (Times New Roman), в таблицах - 12, в подстрочных сносках -10.** Текст печатается строчными буквами (кроме заглавных), выравнивается по ширине с использованием переносов слов. На титульном листе надпись: курсовая работа печатаются 18 шрифтом. Подчеркивание слов и выделение их курсивом внутри самой работы не допускается. Однако заголовки и подзаголовки при печатании текста письменной работы выделяются полужирным шрифтом. Абзацный отступ должен **соответствовать 1,25 см** и быть одинаковым по всей работе.

Иллюстрации (таблицы, чертежи, схемы, графики), которые расположены на отдельных страницах, включают в общую нумерацию страниц. Иллюстрации, кроме страниц, обозначаются словом «рис.» и нумеруются цифрами последовательно в пределах раздела.

Номер иллюстрации должен состоять из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделённых точкой, например, «Рис. 1.2» (второй рисунок первого раздела). Номер рисунка помещают ниже пояснительной надписи. Таблицы нумеруют последовательно арабскими цифрами (за исключением таблиц, приведённых в приложении) в пределах раздела.

Формулы нумеруют (если их две и более) арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера, разделённых точкой. Номер указывают с правой стороны на уровне формулы в круглых скобках, например (3.1) – первая формула третьего раздела.

Примечания к тексту и таблицам, в которых указывают справочные и поясняющие данные, нумеруют последовательно арабскими цифрами.

Ориентировочный объем пояснительной записки курсовой работы составляет **30-40 страниц**. В данный объем не входят приложения и список использованных источников. По согласованию с преподавателем объем работы может быть увеличен.

Ссылки в тексте допускается приводить в подстрочном примечании или указывать порядковый номер по списку источников, выделенный двумя косыми чертами.

Ссылки на формулы указывают порядковым номером формулы в скобках, например «... в формуле (2.1)».

На все таблицы должны быть ссылки в тексте, при этом слово «таблица» в тексте пишут полностью, если таблица не имеет номера, и сокращённо, если имеет номер, например, «в табл. 1.2».

В тексте работы «Введение», название глав, «Заключение» и «Список использованной литературы» печатаются (начинаются) с новой страницы.

Расстояние между заголовком и подзаголовком, заголовком и последующим текстом, подзаголовком и предыдущим текстом отделяют двумя полуторными межстрочными интервалами, а между подзаголовком и последующим текстом - одним полуторным межстрочным интервалом.

Главы письменных работ нумеруются арабскими цифрами и должны начинаться с новой страницы (листа). Номер главы состоит из числа: 1, 2 и т.д.

Заголовки (подзаголовки) располагаются центрированным (посередине текста) способом.

Страницы письменных работ должны иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами по всему тексту. Номер страницы проставляют в правом верхнем углу поля страницы без точки в конце. Первой страницей письменной работы является титульный лист. Он не нумеруется. В работе второй страницей является содержание.

Титульный лист должен содержать наименование учебного заведения, формы обучения, обозначение характера работы (курсовая), ее тему, фамилию, имя, отчество выполнившего ее студента, номер курса и группы, ученую степень, должность или ученое звание научного руководителя, его фамилию и инициалы, графы «Дата сдачи», «Допустить к защите», «Дата защиты», «Оценка», место и год написания работы.

Оглавление работы, которое следует после титульного листа, должно содержать названия элементов структуры работы и номера листов, с которых они начинаются.

Используемые в работе нормативные правовые акты при первом упоминании о них необходимо обозначать полным наименованием акта с указанием в сноске официального источника публикации, а в дальнейшем – по усмотрению студента. Если в дальнейшем студент будет использовать в работе сокращённое наименование акта, то при первом его упоминании необходимо после указания полного наименования указать также то сокращенное наименование, под которым данный акт будет фигурировать в тексте.

При использовании нормативной литературы и цитировании отдельных научных положений студент обязан осуществлять в сносках ссылки на авторов и источники, откуда он заимствует материал (фамилия и инициалы автора, название работы, место и год издания, конкретная страница, откуда заимствована цитата). При этом цитирование допускается только в ограниченном объеме, оправданном целью цитирования (для обоснования актуальности рассматриваемого вопроса; демонстрации различных взглядов, существующих в науке по проблемам темы, подтверждения или опровержения выдвигаемых студентом тезисов и т.п.).

Прямое цитирование в тексте обязательно оформляется с помощью кавычек. В случае буквального воспроизведения положений научных трудов без указания на их названия и авторов курсовая работа к защите не допускается.

Материал в списке использованной литературы следует сгруппировать следующим образом:

1. Нормативные документы (по их юридической силе, в нисходящем порядке, внутри группы равной юридической силы по алфавиту или по дате издания. При этом необходимо указывать полное название документа, дату его принятия и источник официального опубликования).

2. Своды правил (перечисляются используемые своды правил с указанием их полного наименования и официальных источников опубликования).

3. Литература в алфавитном порядке по фамилиям авторов. Ссылки должны содержать фамилию и инициалы автора, основное заглавие, сведения к нему относящиеся, сведения об издании, место издания, издательство, дату издания и объем (наименование периодического издания, год и номер выпуска).

В списке использованных источников должны быть указаны только те материалы, на которые имеется ссылка (сноска) в работе.

Если в курсовой работе имеются приложения, их необходимо пронумеровать.

Все листы пояснительной записки курсовой работы должны быть пронумерованы.

Нумерация страниц в пояснительной записке курсовой работы должна быть сплошной. Студент отвечает за грамотность и аккуратность оформления пояснительной записки курсовой работы.

Наличие грамматических, орфографических и пунктуационных ошибок либо небрежное оформление работы может послужить причиной неудовлетворительной оценки работы.

Подстрочные сноски со ссылками на использованные источники должны иметь сплошную нумерацию.

Порядок представления курсовой работы на защиту

Курсовая работа, подготовленная студентом в окончательной форме, должна быть представлена делопроизводителю кафедры в следующем комплекте:

в письменной форме в прошитом, скрепленном виде – 1 экземпляр;

в электронной форме посредством направления на электронный почтовый адрес кафедры строительного производства k_sp@chebpolytech.ru – 1 экземпляр.

Делопроизводитель кафедры после регистрации факта и даты сдачи курсовой работы передает ее для проверки научным руководителем.

Передача курсовой работы в электронной форме может быть осуществлена путем направления ее студентом непосредственно научному руководителю по электронной почте.

После поступления курсовой работы на кафедру научный руководитель проверяет ее в течение 14 календарных дней с момента поступления на кафедру, после чего возвращает ее делопроизводителю со своим отзывом. В отзыве указываются следующие положения:

– наименование учебного заведения, кафедры, формы обучения;

– обозначение характера работы (курсовая), ее тему;

– фамилию, имя, отчество выполнившего ее студента, номер курса и группы;

– ученую степень, должность или ученое звание научного руководителя, его фамилию и инициалы;

– соответствие представленной курсовой работы общим требованиям, указанным в разделе 1 настоящих Методических рекомендаций;

- соответствие структуры курсовой работы требованиям, указанным в разделе 3 настоящих Методических рекомендаций;
- соответствие оформления курсовой работы требованиям, указанным в разделе 4 настоящих Методических рекомендаций;
- указание на основные выводы и предложения, сформулированные студентом в курсовой работе;
- указание на имеющиеся в курсовой работе недостатки (как по форме, так и по содержанию работы), не препятствующие допуску работы к защите;
- вывод о возможности допуска курсовой работы к защите;
- вопросы к защите;
- предлагаемая форма и дата защиты курсовой работы (устная (очная или дистанционная)).

В случае если поставленные научным руководителем вопросы не ясны студенту, он вправе уточнить их у научного руководителя лично во время его еженедельных консультаций (дежурств на кафедре) или дистанционно через электронную почту.

В случае формулирования научным руководителем вывода о невозможности допуска курсовой работы к защите курсовая работа подлежит подготовке заново с учетом замечаний, указанных научным руководителем, и повторному представлению на защиту в порядке, предусмотренном разделами 3-5, тому же научному руководителю.

Порядок защиты курсовой работы

Защита курсовой работы может проводиться только научному руководителю.

Защита курсовой работы проводится в форме, установленной научным руководителем. Также с согласия научного руководителя или по его предложению, выраженному в отзыве, возможна защита курсовой работы в форме доклада на конференции или ином научном или научно-практическом мероприятии (при наличии такого мероприятия в сроки, установленные для допуска к сессии), или в форме доклада на студенческой научной конференции. В этом случае возможна рекомендация научного руководителя к опубликованию тезисов выступления.

При устной форме защиты курсовой работы студент должен подготовить ответы на вопросы, поставленные ему научным руководителем в отзыве.

Научный руководитель вправе по своему усмотрению задавать студенту дополнительные вопросы для проверки уровня и качества освоения им знаний по теме курсовой работы, а также для дополнительной проверки самостоятельности выполнения курсовой работы.

По итогам защиты научный руководитель определяет, может ли быть защита зачтена, или требуется повторная защита.

По итогам первоначальной или (в случае ее неудачи) повторной защиты курсовой работы научный руководитель ставит отметку о защите курсовой работы в зачетной книжке студента, в ведомости и на титульном листе работы.

После защиты, отзыв и курсовая работа подлежат сканированию самим студентом и заливке в Электронную информационно-образовательную среду (Электронное портфолио) Чебоксарского института (филиала) Московского политехнического университета по адресу <http://students.polytech21.ru/login.php>,

после чего работа в письменной форме передается студентом делопроизводителю для хранения в архиве Филиала.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для написания курсовой работы

Основная литература

1. Юдина, А. Ф. Металлические и железобетонные конструкции. Монтаж : учебник для вузов / А. Ф. Юдина. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2026. — 302 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06927-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/584341> (дата обращения: 12.05.2026).

2. Юдина, А. Ф. Металлические и железобетонные конструкции. Монтаж: учебник для вузов / А. Ф. Юдина. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 302 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06927-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/561681>.

3. Юдина, А. Ф. Строительные конструкции. Монтаж : учебник для среднего профессионального образования / А. Ф. Юдина. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 302 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-07027-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/564809>.

4. Колесов, А. И. Металлические конструкции высотных и большепролетных зданий и сооружений : учебное пособие / А. И. Колесов, О. Б. Иванова, Е. В. Иванова. — Нижний Новгород : ННГАСУ, 2023 — Часть 4 : Высотные сооружения с применением стальных конструкций — 2023. — 121 с. — ISBN 978-5-528-00523-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/342767>.

б) дополнительная литература:

5. Черепяхин, А. А. Технология конструкционных материалов. Сварочное производство : учебник для вузов / А. А. Черепяхин, В. М. Виноградов, Н. Ф. Шпунькин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2026. — 269 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-07041-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/584346>.

6. Бабанов, В. В. Строительная механика для архитекторов : учебник и практикум для вузов / В. В. Бабанов. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 487 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04646-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/560650>.

7. Ольфати, Р. С. Проектирование и расчет металлических конструкций, включая сварку : учебное пособие : в 2 частях / Р. С. Ольфати, И. М. Гаранжа. — Москва : МИСИ – МГСУ, 2020 — Часть 2 : Проектирование и расчет металлических конструкций одноэтажного производственного здания — 2020. — 80 с. — ISBN 978-5-7264-2129-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/145060>.

8. Сиянов, А. И. Металлические конструкции, включая сварку. Расчет элементов каркаса одноэтажного производственного здания / А. И. Сиянов. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 96 с. — ISBN 978-5-507-46022-9. — Текст :

электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/327083>.

9. Смирнов, В. А. Строительная механика : учебник для вузов / В. А. Смирнов, А. С. Городецкий ; под редакцией В. А. Смирнова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 423 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-03317-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/559829>.

Периодика

1. Научно-технический и производственный журнал ПГС DOI: 10.33622/0869-7019 ISSN 0869-7019. Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science URL: <http://www.pgs1923.ru/ru/index.php?m=5> Текст-электронный <https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7969>.

2. Журнал «Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии» Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-68586 от 03 февраля 2017 г.). Журнал индексируется в РИНЦ (elibrary.ru) ISSN: 2542-114X. — <http://journals.volgatech.net/?journal=mkt>.

Согласовано

Подпись и ФИО завкафедрой

« _____ » _____ 20__ г.

И.о. заведующему кафедрой « _____ »

Студента(ки) группы _____

Форма обучения _____

направления подготовки _____

тел. _____

ФИО студента

Заявление

Прошу утвердить тему курсовой работы

(наименование темы)

по дисциплине _____

(дата)

(подпись)

Тема согласована с научным руководителем _____

(дата)

(подпись)

Пример оформления содержания
Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ВЫБОР СХЕМЫ БАЛОЧНОЙ КЛЕТКИ.....	5
1.1. Нормальная балочная клетка	5
1.2. Усложнённая балочная клетка.....	7
1.2.1. Подбор сечения балки настила.....	8
1.2.2. Подбор сечения вспомогательных балок для усложнённой балочной клетки.....	9
2. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ГЛАВНОЙ БАЛКИ.....	11
2.1. Сбор нагрузок.....	11
2.2. Выбор высоты главной балки	11
2.3. Компоновка сечения	12
2.4. Изменение сечения главной балки	14
2.5. Расчёт узла сопряжения балок настила и вспомогательных балок с главными балками.....	17
2.6. Обеспечение местной устойчивости стенки главной балки.....	18
2.7. Проверка местных напряжений в стенках балок.....	21
2.8. Обеспечение общей устойчивости главной балки.....	22
2.9. Расчёт угловых сварных швов между поясом и стенкой балки.....	23
2.10. Расчёт и конструирование опорного узла главной балки.....	23
2.11. Расчёт и конструирование укрупнительного стыка главной балки.....	25
3. РАСЧЁТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОЙ КОЛОННЫ.....	28
3.1. Определение расчётной нагрузки.....	28
3.2. Подбор сечения колонны.....	29
3.3. Расчёт и конструирование решётки колонны.....	30
3.4. Расчёт оголовка колонны.....	31
3.5. Расчёт и конструирование базы колонны.....	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	36
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	37

Образец написания «Введения» курсовой работы**Введение**

Актуальность темы. Металлические конструкции широко применяются в современном строительстве благодаря высокой прочности, надёжности, технологичности изготовления и монтажа. Они используются при возведении промышленных зданий, мостов, стадионов, высотных сооружений и других объектов с большими пролётами и значительными нагрузками.

Особое значение имеет качество сварных соединений — от него напрямую зависят несущая способность, долговечность и безопасность конструкций. Сварка остаётся одним из основных способов соединения элементов металлических конструкций, поэтому грамотное проектирование сварных узлов и правильный выбор сварочных технологий критически важны.

Актуальность курсовой работы обусловлена необходимостью: закрепления теоретических знаний по проектированию и расчёту металлических конструкций; освоения методик расчёта сварных соединений с учётом действующих нагрузок и условий эксплуатации; изучения нормативных требований к материалам, сварке и контролю качества; развития навыков конструирования узлов и элементов металлических конструкций; формирования компетенций по оформлению проектной документации (КМ, КМД).

Цель работы. Спроектировать металлическую конструкцию (или её фрагмент) с выполнением расчётов элементов и сварных соединений, подбором материалов и разработкой конструктивных решений, обеспечивающих надёжность, экономичность и технологичность изготовления и монтажа.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: Изучить исходные данные и требования задания (габариты, нагрузки, условия эксплуатации). Выбрать марку стали для конструкции с учётом климатических условий и характера нагрузок. Разработать компоновочную схему конструкции (определить сетку колонн, систему связей, тип балочной клетки и т.д.). Выполнить сбор нагрузок (постоянных, временных, снеговых, ветровых и пр.) согласно СП 20.13330. Провести статический расчёт конструкции (или её элементов) для определения усилий в стержнях, балках, колоннах. Рассчитать основные элементы конструкции (балки, колонны, фермы) на прочность, устойчивость и жёсткость. Спроектировать и рассчитать сварные соединения (стыковые, угловые) с проверкой прочности по металлу шва и границе сплавления. Конструировать узлы сопряжения элементов (опирание балок, базы колонн, монтажные стыки). Подобрать крепёжные элементы (болты, в т.ч. высокопрочные) при необходимости. Разработать чертежи конструкции в стадиях КМ (конструкции металлические) и КМД (деталировочные чертежи). Проверить экономичность решения (расход металла, трудоёмкость изготовления). Оформить пояснительную записку и графическую часть согласно требованиям СПДС и ЕСКД.

Объект исследования. Указать конкретный объект, например: «стальная рабочая площадка», «поперечная рама одноэтажного промышленного здания», «ферма покрытия пролётом 24 м», «балочная клетка» и т. п.].

Предмет исследования. Расчёт и конструирование металлических конструкций и сварных соединений, включая: выбор материалов (стали, сварочных материалов); расчёт элементов на различные виды нагрузок; проектирование сварных швов и узлов; разработку мер по обеспечению устойчивости и жёсткости; оформление проектной документации.

Методы исследования. В работе применяются следующие методы: аналитический расчёт элементов конструкций по предельным состояниям (согласно СП 16.13330); метод конечных элементов (при использовании программных комплексов SCAD, ЛИРА-САПР и др.); расчёт сварных соединений по формулам сопротивления материалов; сравнительный анализ вариантов конструктивных решений; графическое моделирование узлов и конструкций в САД-программах (AutoCAD, КОМПАС-3D и др.).

Нормативная база. При выполнении курсовой работы использованы следующие нормативные документы: СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» (актуализированная редакция СНиП II-23-81*); СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»; ГОСТ 27772-2021 «Прокат для строительных стальных конструкций»; ГОСТ 9467-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки»; ГОСТ 8050-85 «Двуокись углерода газообразная и жидкая»; ГОСТ 10157-2016 «Аргон газообразный и жидкий»; СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции»; ЕСКД и СПДС — для оформления чертежей.

Практическая значимость. Результаты курсовой работы имеют практическую ценность, поскольку: закрепляют теоретические знания по дисциплине; развивают навыки расчёта и конструирования металлических конструкций; формируют умение работать с нормативной документацией; дают опыт проектирования сварных соединений и узлов; подготавливают к решению реальных инженерных задач в профессиональной деятельности; служат основой для выполнения выпускной квалификационной работы.

Образец написания «Заключения» курсовой работы Заключение

В ходе выполнения курсовой работы была достигнута основная цель — спроектирована металлическая конструкция [указать тип конструкции: например, «балочная клетка», «поперечная рама промышленного здания», «ферма покрытия»] с выполнением полного комплекса расчётов элементов и сварных соединений, подбором материалов и разработкой конструктивных решений, обеспечивающих надёжность, экономичность и технологичность изготовления и монтажа.

Основные результаты работы. Изучены исходные данные и требования задания: определены габариты конструкции и условия эксплуатации; выполнен сбор нагрузок (постоянных, временных, снеговых, ветровых) согласно СП 20.13330.2016; учтены климатические условия региона строительства.

Выбрана марка стали для основных элементов конструкции с учётом: расчётного сопротивления материала; температурных условий эксплуатации; характера действующих нагрузок; требований свариваемости. Разработана компоновочная схема конструкции, включая: определение сетки колонн и пролётов; выбор системы связей для обеспечения пространственной жёсткости; назначение типа балочной клетки (нормальная или усложнённая).

Выполнен статический расчёт конструкции с использованием: аналитических методов расчёта по предельным состояниям (СП 16.13330.2017); программных комплексов (SCAD, ЛИРА-САПР — при наличии).

Рассчитаны основные элементы конструкции: балки на прочность, жёсткость и общую устойчивость; колонны на центральное и внецентренное сжатие; элементы ферм на растяжение и сжатие.

Спроектированы и рассчитаны сварные соединения: стыковые швы с проверкой прочности по металлу шва и границе сплавления; угловые швы с определением катета и длины; комбинированные соединения при необходимости.

Конструированы узлы сопряжения элементов: опирание балок на колонны; монтажные стыки балок; базы и оголовки колонн; узлы крепления связей и раскосов

ферм. Выполнены проверки устойчивости и жёсткости конструкции в целом и отдельных элементов, подтвердившие соответствие требованиям СП 16.13330.2017.

Разработаны чертежи в стадиях: КМ (конструкции металлические) — общая схема с маркировкой элементов; КМД (детализировочные чертежи) — подробные чертежи узлов и элементов с указанием сварных швов, размеров, технических требований. Проведена оценка экономичности решения: определён расход металла на конструкцию; рассчитана трудоёмкость изготовления и монтажа; сопоставлены варианты конструктивных решений для выбора оптимального.

Выводы. Разработанная конструкция удовлетворяет требованиям: прочности, устойчивости и жёсткости при действии расчётных нагрузок; долговечности и эксплуатационной надёжности; технологичности изготовления и монтажа.

ОТЗЫВ на курсовую работу

Студент _____

Курс _____, группа _____, _____ формы обучения

Направление подготовки _____

Направленность (профиль) программы _____

Дисциплина _____

Наименование темы _____

Руководитель _____

1. Представленная работа состоит из: введения, основной части, заключения и списка использованной литературы _____

2. Оценка качества выполнения курсовой работы

№ п/п	Критерии оценки	Оценка (по 5 - балльной шкале)
2.1.	Актуальность тематики работы	
2.2.	Логичность и структурированность работы	
2.3	Самостоятельность расчета и проектирования металлических конструкций балочной клетки	
2.4	Использование в работе наиболее оптимальных решений для расчета и проектирования металлических конструкций балочной клетки	
2.5	Качество оформления графической части и пояснительной записки (полнота обзора источников, обоснованность объемно-планировочных решений, выбранных конструктивных)	
2.6	Результаты работы (новизна, теоретическая и практическая значимость и применимость)	
2.7.	Качество оформления работы (общий уровень грамотности, стиль изложения, качество иллюстраций, соответствие требованиям по оформлению)	
2.8	Использование программных комплексов для расчета и проектирования металлических конструкций балочной клетки	
2.9	Использование в работе соответствующих направлению исследования источников литературы, нормативных документов, результатов научных исследований и материалов периодической печати	
Рекомендуемая оценка за работу (не обязательно среднее арифметическое из данных оценок)		

3. Замечания по подготовке и выполнению курсовой работы

4. Курсовая работа соответствует (не соответствует) предъявляемым требованиям, компетенции сформированы (не сформированы), заслуживает (не заслуживает) положительной оценки и может (не может) быть допущена к защите (нужное подчеркнуть)

5. Дополнительные комментарии к работе

« ____ » « ____ » 202 ____ г.

_____ (подпись руководителя)