С.С.Дюрменова

# МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ, ВКЛЮЧАЯ СВАРКУ

Методические указания к выполнению курсового проекта ,

для бакалавров

направления подготовки 08.03.01 «Строительство»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГУМАНИТАРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ**

С.С.Дюрменова

# МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ, ВКЛЮЧАЯ СВАРКУ

Методические указания к выполнению курсового проекта,

для бакалавров

направления подготовки 08.03.01 «Строительство»

Черкесск, 2016

УДК 624.014

ББК 38.54
Д97

Рассмотрено на заседании кафедры Строительства и управления недвижимостью.

Протокол № 10 от « 12» 03.2016 г.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом СевКавГГТА.

Протокол № 8 от «03»06. 2016 г.

**Рецензенты:** зав. кафедрой д.т.н., проф. С.Х.Байрамуков

И00 **Дюрменова С.С.** Металлические конструкции, включая сварку: методические указания к курсовому проекту , для бакалавров направления подготовки 08.03.01 «Строительство»/ С.С.Дюрменова – Черкесск: БИЦ СевКавГГТА, 2016. – 52 с.

В методическом указании даны задания на проектирование, примеры расчета, а также справочный материал, освещающее содержание учебной дисциплины в соответствии с учебной программой, для бакалавров направления подготовки 08.03.01 «Строительство»

**УДК 624.014**
**ББК 38.54**

© Дюрменова С.С, 2016
© ФГБОУ ВПО СевКавГГТА, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение……...5

Исходные данные……6

Структура и содержание курсового проекта……7

Пример расчета курсового проекта……..8

Приложения…….……33

Литература……37

## Введение

Строительство является одной из самых металлоемких отраслей народного хозяйства. Значительная часть стали расходуется на изготовление металлоконструкций, из которых возводятся автодорожные и железнодорожные мосты, каркасы промышленных и гражданских зданий, башни и мачты антенных устройств, опоры линий электропередачи, резервуары, газгольдеры и др.

Изучение дисциплины ”Металлические конструкции” невозможно без знания широкого круга специальных дисциплин, которые изучались в предыдущих семестрах: строительные материалы, сопротивление материалов, технология металлов, теория упругости, строительная механика.

Главной функциональной задачей несущих конструкций является передача силовых потоков от мест приложения нагрузок и воздействий на фундамент. Переходя с одного элемента на другой, нагрузки и воздействия постоянно меняются, принимая форму нормальных и поперечных сил, изгибающих и крутящих моментов, или преобразуются в другие, более сложные формы.

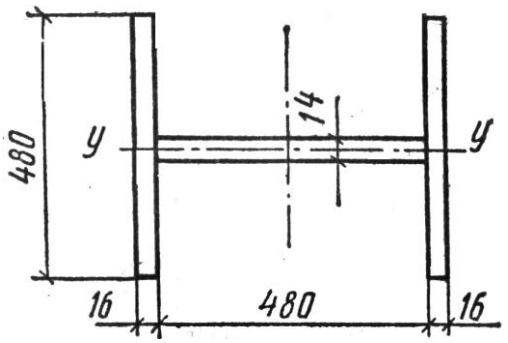
Задача конструктора состоит в том, чтобы при соблюдении технологических и иных требований к объекту проектирования создать конструктивную схему с подбором параметров элементов и узловых соединений, обеспечивающую простой и надежный путь для передачи силовых потоков. При этом каждый конструктивный элемент и сооружение в целом должны удовлетворять комплексу условий: прочность, устойчивость, жесткость, долговечность, ремонтопригодность в сочетании с экономическими ограничениями. Таким образом, грамотный расчет конструкций невозможен без знаний теоретических основ построения расчетных положений. Размеры поперечных сечений элементов металлоконструкций определяются расчетом, учитывающим прочностные свойства материала, условия работы и назначение конструкций

## I.Исходные данные

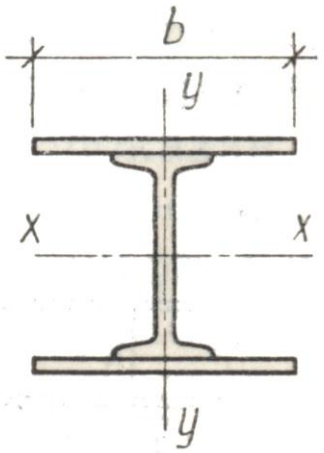
Задания на курсовой проект по дисциплине: «Металлические конструкции, включая сварку» по трем последним цифрам зачетной книжки студента, по согласованию с преподавателем могут данные изменены.

| Цифры шифра | 1 цифра шифра | П цифра шифра | | Ш цифра шифра | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Нормат. нагрузка $P^н$ кН/м$^2$ | Марка стали | Размеры клетки L x ℓ | $H_к$ | Тип сечения |
| 1 | 28 | Вст 3. КП-2 | 15x8 | 5,8 | I |
| 2 | 24 | Вст 3. ПС-6-2 | 12x7,8 | 6,0 | II |
| 3 | 20 | Вст 3. ПС-5-1 | 18x6 | 4,6 | III |
| 4 | 30 | Вст 3. Г ПС-5-1 | 15x7,5 | 4,4 | IV |
| 5 | 22 | Вст 3. Г ПС-6-2 | 13,2x6 | 5,0 | I |
| 6 | 26 | Вст 3. ПС-6-2 | 15x7 | 5,2 | II |
| 7 | 24 | 09Г2С-гр.2 | 15x6 | 4,8 | III |
| 8 | 18 | 09Г2С-гр.1 | 12x6 | 4,6 | IV |
| 9 | 32 | Вст 3. СП-5-1 | 12x7,2 | 5,4 | I |
| 0 | 25 | Вст 3. ПС-6-2 | 15x5 | 6,0 | II |

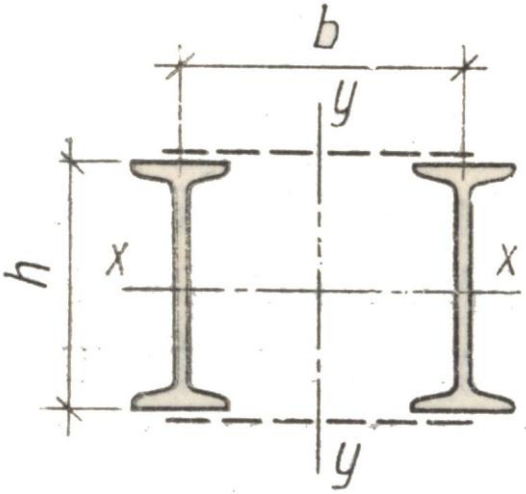
1 - вариант



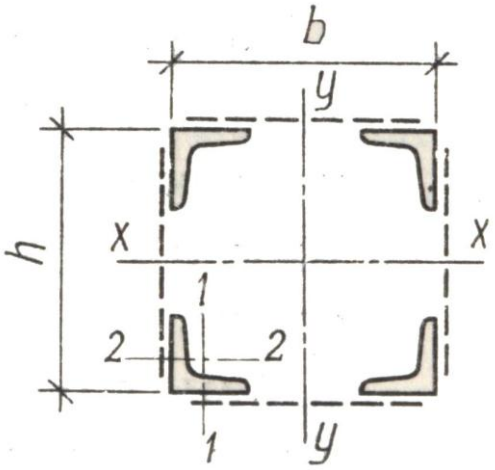

2 - вариант



3 - вариант




4 - вариант




## II. Структура и содержание курсового проекта

Курсовой проект состоит из пояснительной записки в объеме 20-30 страниц и 1 листа чертежа формата А1 или можно сделать чертежи на нескольких листах формата А3 .

1.**В расчетно-пояснительной записке:**

1.Расчет несущего настила;
2.Компоновка балочной клетки;
3.Расчет балок настила;
4.Расчет главной балки;
5.Расчет колонны;
6. Расчет и конструирование базы колонны;
7. Расчет и конструирование оголовка колонны;
8. Список используемой литературы.

**2.В графической части проекта:**

1. Монтажная схема принятого варианта балочной клетки;
2. Поперечный разрез перекрытия и узлы сопряжения балок;
3. Чертеж главной балки;
4. Монтажный стык главной балки;
5. Чертеж колонны;
6. Узел сопряжения балки с колонной;
7. Спецификация элементов главной балки и колонны;
8. Примечания.

**ПРИМЕР РАСЧЕТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА**
**РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ**
**БАЛОЧНОЙ КЛЕТКИ**

## 1.РАСЧЕТ НЕСУЩЕГО НАСТИЛА

### 1.1. <u>Пример :</u> Расчет несущего металлического настила

1. Требуется определить и рассчитать прикрепление несущего настила из стали $Вст3кп2$.

Дано: нормативная равномерно распределенная, временная нагрузка $P_n = 20\,кН/м^2$, коэффициент перегрузки $n = 1{,}2$, коэффициент условий работы $\gamma = 1$, предельный относительный прогиб настила $\left[\frac{f}{\ell}\right] \le \frac{1}{150}$, настил приварен к балкам электродами типа Э 42, имеющий $R_{уш}^{св} = 180\,МПа = 18\,кН/см^2 \,/\, R = 21{,}5\,кН/см^2$

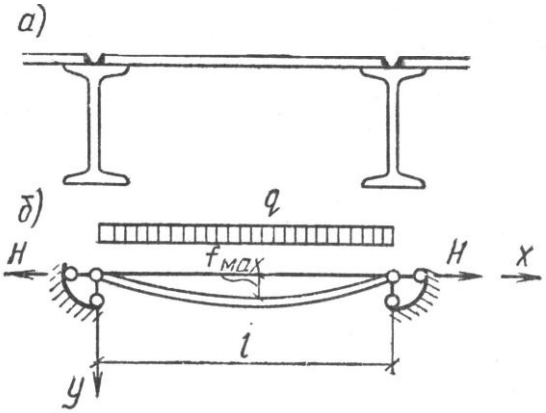



**Рис.1. Плоский металлический настил**
**а- опирание настила на балку; б- расчетная схема**

Определяем размеры настила по формуле:

$$\frac{\ell}{t} = \frac{4n_0}{15}\cdot\left(1+\frac{72E_1}{n_0^4\cdot P_n}\right); \qquad n_0 = \left[\frac{\ell}{t}\right]; \qquad n_0 = 150$$

$$\frac{\ell}{t} = \frac{4\cdot 150}{15}\cdot\left(1+\frac{72\cdot 2.26\cdot 10^4}{150^4\cdot 20\cdot 10^{-4}}\right);$$

Е–модуль упругости прокатной стали;

$$E_1 = \frac{E}{1-\nu^2} = \frac{2{,}06\cdot 10^4}{1-0{,}3^2} = 2{,}26\cdot 10^4\,кН/см^2$$

$\nu$ - коэффициент Пуассона для стали;

$\frac{\ell}{t} = 104.3$ Принимаем $t_{наст} = 10\,мм = 1\,см$

Тогда $l = 104{,}3\cdot 1 = 104{,}3\,см$

Определяем силу, растягивающую настил:

$$H = 1{,}2\cdot\frac{\pi^2}{4}\cdot\left(\frac{1}{150}\right)^2\cdot 2{,}26\cdot 10^4\cdot 1 = 2{,}96\,кН/см$$

Расчетная толщина углового шва:

$$k_ш = \frac{H}{\beta_ш} \cdot l_ш \cdot R_{уш}^{св} \cdot \gamma = \frac{2,96}{0,9 \cdot 1 \cdot 18} = 0,183\,см$$

Принимаем $k_ш = 4\,мм$

Полоса настила шириной $b = 1,3 \cdot t \cdot \sqrt{E/R} = 1,3 \cdot 1 \cdot \sqrt{2,06 \cdot 10^4 / 21,5} = 40,23\,см$

## 2.КОМПОНОВКА БАЛОЧНОЙ КЛЕТКИ

### 2. 1. Компоновка нормальной и усложненной схемы балочной клетки

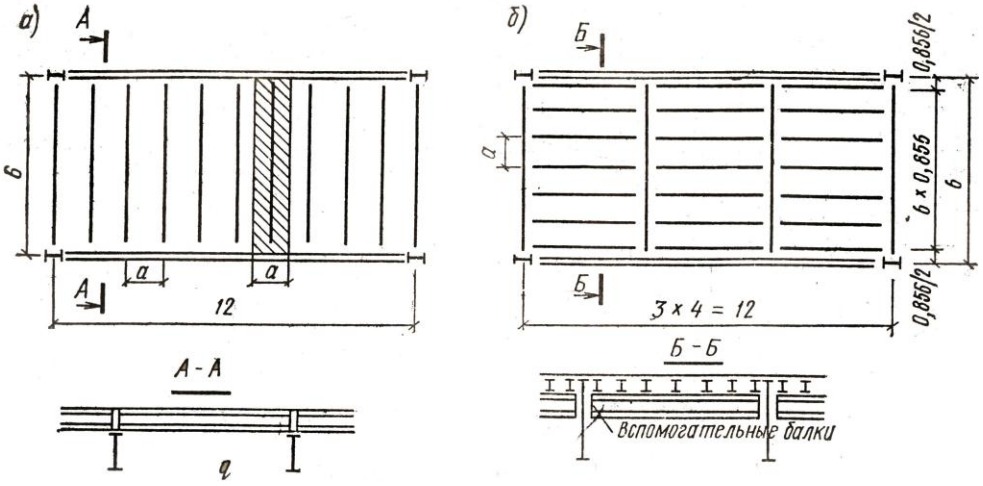



Рис.2. Схема балочной клетки

## 3.РАСЧЕТ БАЛКИ НАСТИЛА

### 3.1. <u>Пример :</u> Расчет балки настила нормальной схемы балочной клетки

<u>Вариант I.</u>

Пролет главной балки делим на 13 частей по 92,3 см – расстояние между балками настила (а), предельный прогиб балки $\left[\frac{f}{\ell}\right] \le \frac{1}{250}$, коэффициент условия работы $\gamma = 1$.

Определяем вес настила, зная, что 1 м$^2$ стального листа толщиной 10 мм, весит 78,5 кг

$$g^n = 1 \cdot 78,5 = 78,5\,кг/м^2 = 0,785\,кН/м^2$$

Нормативная нагрузка на балку настила:

$$q^n = \left(P_n + g^n\right) \cdot a = (20 + 0,785) \cdot 0,923 = 19,52\,кН/м = 0,19\,кН/см$$

Расчетная нагрузка на балку настила:

$$q = \left(n_p \cdot P_n + n_g \cdot g^n\right) \cdot a = (1,2 \cdot 20 + 1,05 \cdot 0,785) \cdot 0,923 = 22,9 = 23\,кН/м$$

Расчетный изгибающий момент (длина балки настила - 6 м):

$$M_{мах} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{23 \cdot 6^2}{8} = 103,5\,кН \cdot м = 10350\,кН \cdot см$$

Требуемый момент сопротивления балки, принимая:

$$W_{нт.треб.} = \frac{M_{мах}}{c_1 \cdot R \cdot \gamma} = \frac{10350}{1,1 \cdot 21,5 \cdot 1} = 437,6\,см^3$$

По сортаменту принимаем двутавр №30 с $W = 472\,см^3$, $I = 7080\,см^4$, $g = 36{,}5\,кг/м$; $b = 135\,мм$.

Проверка правильности принятого номера на прогиб:

$$\frac{f}{\ell} \le \left[\frac{f}{\ell}\right]; \qquad f = \frac{5 \cdot ql^4}{384 \cdot EI} \le \left(\frac{1}{250}\right) \cdot l$$

$$f = \frac{5 \cdot 0{,}19 \cdot 600^4}{384 \cdot 2{,}06 \cdot 10^4 \cdot 7080} = 2{,}19\,см \le \left(\frac{1}{250}\right) \cdot 600 = 2{,}4\,см$$

Принятое сечение балки удовлетворяет условиям прочности и прогиба.

Определяем расход металла на 1 м$^2$ перекрытия:

Настил – $1 \cdot 78{,}5 = 78{,}5\,кг/м^2$

Балка настила - $\frac{g}{a} = \frac{36{,}5}{0{,}923} = 39{,}5\,кг/м^2$

Весь расход металла составит: $П_1 = 78{,}5 + 39{,}5 = 118{,}04\,кг/м^2$

**3.2 <u>Пример :</u> Расчет балки настила и вспомогательной балки усложненной схемы балочной клетки**

<u>Вариант II.</u>

Расстояние между балками настила $a = \frac{6}{7} = 0{,}856\,м$.

Пролет балки настила $l = \frac{L}{3} = \frac{12}{3} = 4\,м$.

Вес настила: $g^n = 1 \cdot 78{,}5 = 78{,}5\,кг/м^2 = 0{,}785\,кН/м^2$

Нормативная нагрузка на балку настила

$$q^n = \left(P_n + g^n\right) \cdot a = (20 + 0{,}785) \cdot 0{,}856 = 17{,}79\,кН/м = 0{,}178\,кН/см$$

Расчетная нагрузка на балку настила:

$$q = \left(n_p \cdot P_n + n_g \cdot g^n\right) \cdot a = (1{,}2 \cdot 20 + 1{,}05 \cdot 0{,}785) \cdot 0{,}856 = 21{,}25\,кН/м$$

Расчетный изгибающий момент (длина балки $l = 4\,м$)

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{21{,}25 \cdot 4^2}{8} = 42{,}5\,кН/м = 4250\,кН/см$$

Требуемый момент сопротивления балки

$$W_{нт.треб} = \frac{M}{c_1 \cdot R \cdot \gamma} = \frac{4250}{1{,}1 \cdot 21{,}5 \cdot 1} = 179{,}7\,см^3$$

По сортаменту принимаем двутавр №20 с $W = 184\,см^3$, $I = 1840\,см^4$, вес $g = 21\,кг/м$.

Проверка правильности принятого номера на прогиб:

$$\frac{f}{\ell} \le \left[\frac{f}{\ell}\right] \qquad f = \frac{5 \cdot q^n l^4}{384 \cdot EI} \le \left(\frac{1}{250}\right) \cdot l$$

$$f = \frac{5 \cdot 0{,}178 \cdot 400^4}{384 \cdot 2{,}06 \cdot 10^4 \cdot 1840} = 1{,}56\,см \le \left(\frac{1}{250}\right) \cdot 400 = 1{,}6\,см$$

Принятый профиль удовлетворяет условиям прочности прогиба.

Расчет вспомогательной балки.

Нагрузка от балок настила считаем равномерно распределенной.
Нормативная нагрузка на вспомогательную балку:

$$q^н = \left(P_н + g^н + \frac{g}{a}\right)\cdot l = \left(20 + 0{,}785 + \frac{0{,}21}{0{,}856}\right)\cdot 4 = 84{,}12\,кН/м = 0{,}84\,кН/см$$

Расчетная нагрузка на вспомогательную балку:

$$q = \left[n_p \cdot P_н + n_g \cdot \left(g^н + \frac{g}{a}\right)\right]\cdot 4 = \left[1{,}2\cdot 20 + 1{,}05\cdot\left(0{,}785 + \frac{0{,}21}{0{,}856}\right)\right]\cdot 4 = 100{,}33кН/м = 101кН/м$$

Расчетный изгибающий момент (длина вспомогательной балки – 6 м)

$$M = \frac{q\cdot l^2}{8} = \frac{101\cdot 6^2}{8} = 451{,}5\,кН\cdot м = 45150\,кН\cdot см$$

Требуемый момент сопротивления балки:

$$W_{нт.треб.} = \frac{M}{c_1\cdot R\cdot\gamma} = \frac{45150}{1{,}1\cdot 21{,}5\cdot 1} = 1908{,}98 = 1909\,см^3$$

По сортаменту принимаем двутавр №55 с $W = 2035\,см^3$, $I = 55962\,см^4$; вес $g = 92{,}6\,кг/м$. Ширина полки $b = 1{,}8\,см$ и толщина полки $t = 1{,}65\,см$.
Проверка правильности принятого номера на прогиб:

$$\frac{f}{\ell} \le \left[\frac{f}{\ell}\right]; \qquad f = \frac{5\cdot q^{í}\,\ell^4}{384\cdot EI} \le \left[\frac{1}{250}\right]\cdot\ell$$

$$f = \frac{5\cdot 0{,}84\cdot 600^4}{384\cdot 2{,}06\cdot 10^4\cdot 55962} = 1{,}23\,см \le \left[\frac{1}{250}\right]\cdot 600 = 2{,}4\,см$$

Принятый профиль удовлетворяет условиям прочности и прогиба.

Определяем расход материала на 1 м$^2$ перекрытия:

Настил – $1\cdot 78{,}5 = 78{,}5\,кг/м^2$

Балка настила - $\frac{g}{a} = \frac{21}{0{,}856} = 24{,}53\,кг/м^2$

Вспомогательная балка - $\frac{g}{a} = \frac{92{,}6}{4} = 23{,}15кг/м^2$

Весь расход металла:

$$П_2 = 78{,}5 + 24{,}53 + 23{,}15 = 126{,}2\,кг/м^2 = 1{,}27\,кН/м^2$$

### 3.3 Сравнение вариантов

Из сравнения двух вариантов принимаем для дальнейшего проектирования наиболее экономичную схему (по расходу металла)

$$П_1 = 1{,}18\,кН/м^2; \qquad П_2 = 1{,}27\,кН/м^2$$

По расходу металла вариант 1 выгоднее.

## 4. РАСЧЕТ ГЛАВНОЙ БАЛКИ

### 4.1. <u>Пример:</u> Подбор сечения балки и проверка ее прочности

Прогиб главной балки $f \le \left(\frac{1}{400}\right) \cdot l$; $R_{ср} = 125\,МПа = 12{,}5\,кН/см^2$

Нормативная нагрузка на главную балку:

$$q^н = n\left(P_н + g^н\right) \cdot a = 1{,}02 \cdot (20 + 1{,}18) \cdot 6 = 129{,}62\,кН/м$$

Расчетная нагрузка на главную балку:

$$q = n\left[n_p \cdot P_н + n_g \cdot g^н\right] \cdot a = 1{,}02 \cdot [1{,}2 \cdot 20 + 1{,}05 \cdot 1{,}18] \cdot 6 = 181{,}7 = 182\,кН/м$$

Расчетный изгибающий момент в середине пролета:

$$M = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{182 \cdot 12^2}{8} = 3276\,кН \cdot м = 327600\,кН \cdot см$$

Поперечная сила на опоре:

$$Q = \frac{qL}{2} = \frac{182 \cdot 12}{2} = 1092\,кН$$

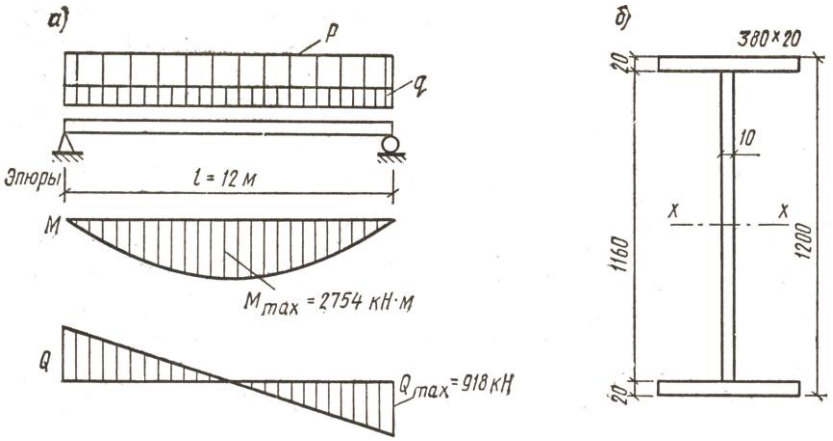



Рис.4.1. а-расчетная схема главной балки
б- сечение главной балки

Требуемый момент сопротивления балки:

$$W_{нт.треб.} = \frac{M_{\max}}{c_1 \cdot R \cdot \gamma} = \frac{327600}{1{,}1 \cdot 21{,}5 \cdot 1} = 13852\,см^3$$

Определяем оптимальную высоту балки, предварительно задав приближенную высоту $h = \frac{1}{10} \cdot L = \frac{1}{10} \cdot 12 = 1{,}2\,м$ и толщину стенки

$$t_{ст} = 7 + 3 \cdot \frac{h}{1000} = 7 + 3 \cdot \frac{1200}{1000} = 10{,}6\,мм = 1\,см$$

$$h_{опт} = k \cdot \sqrt{W / t_{ст}} = 1{,}15 \cdot \sqrt{13852/1} = 135{,}35\,см$$

Минимальную высоту определяем:

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \cdot \frac{c_1 \cdot R \cdot L}{E} \cdot \left[\frac{\ell}{f}\right] \cdot \frac{P_н + g^н}{n_p \cdot P_н + n_g \cdot g^н} = \frac{5 \cdot 1{,}1 \cdot 21{,}5 \cdot 1200 \cdot 400}{24 \cdot 2{,}06 \cdot 10^4} \cdot \frac{129{,}6}{182} = 81{,}8\,см$$

Сравнивая полученные высоты, принимаем высоту балки, близкую к оптимальной $h = 130\,см$.

Проверяем принятую толщину стенки балки:

$$t_{ст} = 7 + 3 \cdot \frac{h}{1000} = 7 + 3 \cdot \frac{1300}{1000} = 10{,}9\,мм = 10\,мм = 1\,см$$

Из условия работы стенки на касательные напряжения на опоре:

$$t_{ст} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q_{\max}}{h \cdot R_{ср}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1092}{130 \cdot 12{,}5} = 1{,}008\,см = 1\,см$$

Чтобы не применять продольных ребер жесткости

$$t_{ст} \geq \frac{h\sqrt{R/E}}{5{,}5} = \frac{130 \cdot \sqrt{21{,}5/2{,}06 \cdot 10^4}}{5{,}5} = 0{,}76\,см$$

Сравнивая полученные расчетным путем толщину стенки с принятой (10 мм), приходим к выводу, что она удовлетворяет условию прочности на действие касательных напряжений и не требует укрепления ее продольным ребром жесткости для обеспечения местной устойчивости.

Размеры горизонтальных поясных листов находим исходя из необходимой несущей способности балки. Для этого вычисляем требуемый момент инерции сечения балки.

$$I = \frac{W \cdot h}{2} = \frac{13852 \cdot 130}{2} = 900380\,см^4$$

Находим момент инерции стенки балки, принимая толщину поясов 2 см $(t_n = 20\,мм)$

$$h_{ст} = h - 2 \cdot t_n = 130 - 2 \cdot 2 = 126\,см$$

$$I_{ст} = t_{ст} \cdot h_{ст}^3 / 12 = 1 \cdot 126^3 / 12 = 166698\,см^4$$

Момент инерции, приходящийся на поясные листы:

$$I_n = I - I_{ст} = 900380 - 166698 = 733682\,см^4$$

Требуемую площадь сечения поясов балки:

$$A_n = 2 \cdot I_n / h_o^2 = 2 \cdot 733682 / 128^2 = 89{,}6\,см^2$$

где: $h_0 = h - t_n = 130 - 2 = 128\,см$

Принимаем пояса из стали 450х20 мм.

$$A_n = b_n \cdot t_n = 45 \cdot 2 = 90\,см^2$$

$$A_{ст} = h_{ст} \cdot t_{ст} = 126 \cdot 1 = 126\,см^2$$

$$A_n / A_{ст} = 90/126 = 0{,}71$$

Проверяем принятую ширину (свесов) поясов, исходя из их местной устойчивости:

$$\frac{b_{св}}{2t_n} = \frac{45-1}{2 \cdot 2} = 11 < 0{,}11 \cdot \frac{h_0}{t_{ст}} = 0{,}11 \cdot \frac{128}{1} = 14{,}08 < 0{,}5\sqrt{\frac{E}{R}} = 15{,}5$$

Подобранное сечение балки проверяем на прочность. Для этого определяем момент инерции и момент инерции, и момент сопротивления балки.

$$I = I_{ст} + I_n = 166698 + 2 \cdot t_n \cdot b_n \cdot \left(\frac{h_o}{2}\right)^2 = 166698 + 2 \cdot 2 \cdot 45 \cdot \left(\frac{128}{2}\right)^2 = 903978\,см^4$$

$$W = \frac{I}{h/2} = 13907\,см^3$$

Наибольшее нормальное напряжение в балке:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{c_1 \cdot W} = \frac{327600}{1{,}1 \cdot 13907} = 21{,}41\,кН/см^2 < R = 21{,}5\,кН/см^2$$

**4.2. <u>Пример:</u> Изменение сечения балки в приопорной зоне и проверка прочности сечения**

Определяем местонахождение сечения х.

$$x = L/6 = 12/6 = 2\ м$$

$$M_1 = [q \cdot x \cdot (L - x)]/2 = [182 \cdot 2 \cdot (12 - 2)]/2 = 1820\ кН \cdot м = 182000\ кН \cdot см$$

$$Q_1 = q \cdot (L/2 - x) = 182 \cdot \left(\frac{12}{2} - 2\right) = 728\ кН$$

Определяем требуемый момент сопротивления и момент инерции измененного сечения:

$$W_1 = \frac{M_1}{R_{св}} = \frac{M_1}{R \cdot 0{,}85} = \frac{182000}{0{,}85 \cdot 21{,}5} = 9958{,}96\ см^3$$

$$I_1 = W_1 \cdot \frac{h}{2} = 9959 \cdot \frac{130}{2} = 647332\ см^4$$

Определяем требуемый момент инерции поясов:

$$I_n^1 = I_1 - I_{ст} = 647332 - 166698 = 480634\ см^4$$

Требуемая площадь сечения поясов:

$$A_n^1 = 2I_n^1 / h_0^2 = 2 \cdot 480634 / 128^2 = 58{,}67\ см^2$$

$$A_n^1 = 30 \cdot 2{,}0 = 60 см^2 > 58{,}67 см^2$$

Принятая ширина пояса удовлетворяет рекомендациям

$$b_n^1 > 18\ см; \qquad b_n^1 > \frac{h}{10} = 13 см$$

Определяем момент инерции и момент сопротивления уменьшенного сечения:

$$I_1 = I_{ст} + I_{П1} = 166698 + 2 \cdot b_1 \cdot t_n \cdot \left(\frac{h_0}{2}\right)^2 = 2 \cdot 30 \cdot 2 \cdot \left(\frac{128}{2}\right)^2 + 166698 = 658218\ см^4$$

$$W_1 = \frac{2I_1}{h} = \frac{2 \cdot 658218}{130} = 10126{,}43\ см^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_1}{W_1} = \frac{182000}{10126{,}43} = 17{,}97\ кН/см^2 < R^{св} = 0{,}85 \cdot R = 0{,}85 \cdot 21{,}5 = 18{,}3\ кН/см^2$$

**4.3.<u>Пример:</u> Проверка прочности, общей устойчивости и прогиба главной балки.**

Проверяем максимальные нормальные напряжения в поясах в середине балки:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{c_1 \cdot W} = \frac{327600}{1{,}1 \cdot 13907} = 21{,}42\ кН/см^2 < R = 21{,}5 кН/см^2$$

Проверяем максимальное касательное напряжение в стенке на опоре балки:

$$\tau = \frac{Q_{\max} \cdot S_1}{I_1 \cdot t_{ст}} = \frac{1092 \cdot 5825}{658218 \cdot 1} = 9{,}7\ кН/см^2 < R_{ср} = 12{,}5 кН/см^2$$

Статический момент полусечения балки:

$$S_1 = b_1 \cdot t_n \cdot \frac{h_0}{2} + \frac{t_{ст} \cdot h_{ст}^2}{8} = 30 \cdot 2 \cdot \frac{128}{2} + \frac{1 \cdot 126^2}{8} = 5825\, см^3$$

Проверяем местные напряжения в стенке под балками настила:

$$\sigma_M = F / t_{ст} \cdot l_M$$

где: $F = 2 \cdot q^p \cdot \frac{l}{2} = 2 \cdot 23 \cdot \frac{6}{2} = 138\, кН$ - опорная реакция балок настила

$l_M = b + 2t_П = 13{,}5 + 2 \cdot 2 = 17{,}5\ см$ - длина передачи нагрузки на стенку балки

$$\sigma_M = \frac{138}{1 \cdot 17{,}5} = 7{,}88\, кН / см^2 < R = 21{,}5 кН / см^2$$

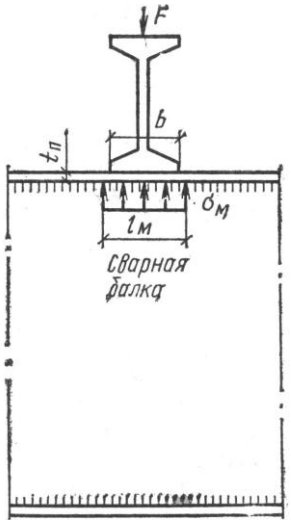



Рис. 4.2 Поэтажное опирание балок

Проверяем приведенные напряжения в сечении – месте изменения сечения балки:

$$\sigma_{прив} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} = \sqrt{17{,}42^2 + 3 \cdot 4{,}2^2} = 18{,}86\ кН / см^2 < 1{,}15 \cdot R = 24{,}73 кН / см^2$$

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W_1} \cdot \frac{h_{ст}}{h} = \frac{182000}{10126{,}4} \cdot \frac{126}{130} = 17{,}42 кН / см^2$$

$$\tau_1 = \frac{Q_1 \cdot S_{1n}}{I_1 \cdot t_{ст}} = \frac{728 \cdot 3780}{658218 \cdot 1} = 4{,}2 кН / см^2$$

$$S_{1n} = b_1 \cdot t_n \cdot \left(\frac{h_0}{2}\right) = 30 \cdot 2 \cdot \left(\frac{126}{2}\right) = 3780\, см^3$$

Проверка общей устойчивости в середине пролета балки

$$1 < \frac{h}{b_n} < 6; \qquad 1 < \frac{130}{45} = 2{,}88 < 6;$$

$$\frac{b_n}{t_n} = \frac{45}{2} = 22{,}5 < 35$$

$$\frac{a_0}{b_n} = \frac{92{,}3}{45} = 2{,}1 < \delta \left[ 0{,}41 + 0{,}0032 \cdot \frac{b_n}{t_n} + \left(0{,}73 - 0{,}016 \cdot \frac{b_n}{t_n}\right) \cdot \frac{b_n}{h_0} \right] \cdot \sqrt{\frac{E}{R}}$$

$$2{,}1 < 0{,}3 \cdot \left[ 0{,}41 + 0{,}0032 \cdot \frac{45}{2} \cdot \left(0{,}73 - 0{,}016 \cdot \frac{45}{2}\right) \cdot \frac{45}{128} \right] \cdot \sqrt{\frac{2{,}06 \cdot 10^4}{21{,}5}} = 3{,}89$$

$$\frac{a_0}{b_{n1}} = \frac{92,3}{30} = 3,07 < 1 \cdot \left[0,41 + 0,0032 \cdot \frac{30}{2} + \left(0,73 - 0,016 \cdot \frac{30}{2}\right) \cdot \frac{30}{128}\right] \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{21,5}} = 19,2$$

## 4.4. ПРИМЕР : Проверка местной устойчивости сжатого пояса стенки сварной балки

$$\frac{b_{св}}{2t_n} = \frac{45-1}{2 \cdot 2} = 11 < 0,11 \cdot \frac{h_0}{t_{ст}} = 0,11 \cdot \frac{128}{1} = 14,08 < 0,5\sqrt{\frac{E}{R}} = 15,5$$

$$\overline{\lambda_{ст}} = \frac{h_{ст}}{t_{ст}}\sqrt{\frac{R}{E}} = \frac{126}{1}\sqrt{\frac{21,5}{20600}} = 4,07 > 2,2$$

т.е. вертикальные ребра жесткости необходимы.

Определяем длину зоны использования пластических деформаций в стене:

$$a = L \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{c_1} \cdot \frac{h}{h_{ст}}} = 1200 \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{1,1} \cdot \frac{130}{126}} = 317,5\,см$$

Расстановку вертикальных ребер жесткости принимаем по рисунку

Проверяем сечение в приопорной зоне на расстоянии x = 2,769 м от опоры, под балкой настила:

$$M_2 = [q \cdot x \cdot (L - x)]/2 = [182 \cdot 2,77 \cdot (12 - 2,77)]/2 = 2326,61\,кН \cdot м = 232661\ кН \cdot см$$

$$Q_2 = q \cdot \left(\frac{L}{2} - x\right) = 182 \cdot \left(\frac{12}{2} - 2,77\right) = 587,86 = 588\,кН$$

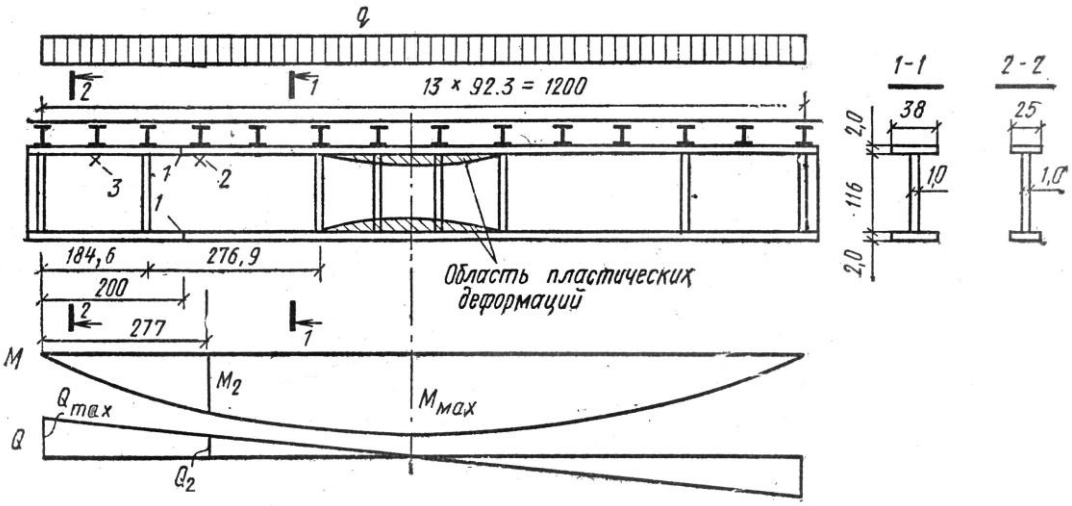



Рис. 4.3 Расчетная схема главной балки

Определяем действующие напряжения:

$$\sigma = \frac{M_2}{W} \cdot \frac{h_{ст}}{h} = \frac{232661}{13907} \cdot \frac{126}{130} = 16,22\,кН/см^2$$

$$\tau = \frac{Q_2}{h_{ст} \cdot t_{ст}} = \frac{588}{126 \cdot 1} = 4,67\,кН/см^2$$

$$\sigma_м = 7,9\ кН/см^2,$$

$$\tau_{кр} = 10{,}3 \cdot \left(1 + \frac{0{,}76}{\mu^2}\right) \cdot \frac{R_{ср}}{\lambda^2_{усл}} = 10{,}3 \cdot \left(1 + \frac{0{,}76}{2{,}4^2}\right) \cdot \frac{12{,}5}{4{,}07^2} = 8{,}72 \ кН/см^2,$$

где: $h_0 = h_{ст}$; $\bar{\lambda}_{усл} = \bar{\lambda}_{ст} = 4{,}07$; $\cdot \mu = \frac{a}{h_0} = \frac{317{,}5}{128} = 2{,}4$; $R_{ср} = 12.5\, кН/см^2$

При $a/h_0 = \mu = 2.4$ *и* $\frac{\sigma_M}{\sigma} = \frac{7{,}9}{16.22} = 0.48$;

Определяем $\delta = \beta \cdot \frac{b_n}{h_0}\left(\frac{t_n}{t_{ст}}\right)^3 = 0.8 \cdot \frac{45}{128} \cdot \left(\frac{2}{1}\right)^3 = 0.28 \cdot 8 = 2{,}24$; где: $\beta = 0{,}8$;

по таблице 4. 1 принимаем $\frac{\sigma_м}{\sigma} = 0{,}82$

Таблица 4.1 Предельный значения $\frac{\sigma_м}{\sigma}$ для стенок балок

| Балки | $\delta$ | Предельные значения $\sigma_м/\sigma$ при $a/h_0$, равном | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | ≥2,0 |
| Сварные | ≤1 | 0 | 0,146 | 0,183 | 0,267 | 0,359 | 0,445 | 0,540 | 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 | 0,930 | 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 |
| | ≥3 | 0 | 0,047 | 0,112 | 0,300 | 0,633 | 1,283 | 2,249 | 3,939 |

Поэтому $\sigma_{кр}$ определяем

$$\sigma_{кр} = \frac{C_{кр} \cdot R}{\lambda^2_{ст}} = \frac{33.4 \cdot 21.5}{4.07^2} = 43.35\, кН/см^2,$$

где $C_{кр} = 33{,}4$ *по табл.* 4.2 *при* $\delta = 2{,}24$,

Таблица 4.2 Значения коэффициента $C_{кр}$ для стенок балок

| $\delta$ | ≤0,8 | 1,0 | 2,0 | 4,0 | 6,0 | 10,0 | ≥30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{кр}$ | 30,0 | 31,5 | 33,3 | 34,6 | 34,8 | 35,1 | 35,5 |

$$\sigma_{м,кр} = \frac{C_1 \cdot R}{\bar{\lambda}^2_a} = \frac{25{,}7 \cdot 21.5}{5.13^2} = 21 \ кН/см^2,$$

где: $\lambda^2_a = \frac{a}{2 \cdot t_{ст}}\sqrt{\frac{R}{E}} = \frac{317{,}5}{2 \cdot 1}\sqrt{\frac{21.5}{2.06 \cdot 10^4}} = 5.13$

$C_1$=25,7 по табл. 4.3 при $\delta = 2.24$ *и* $\frac{a}{2 \cdot h_{ст}} = \frac{317{,}5}{2 \cdot 126} = 1.26$.

Таблица 4.3 Значения коэффициента $C_1$ для стенок балок

| $\delta$ | Значение $C_1$ для сварных балок при $a/h_0$ равном | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ≤0,5 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | ≥2 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ≤1 | 11,5 | 12,4 | 14,8 | 18,0 | 22,1 | 27,1 | 32,6 | 38,9 | 45,6 |
| 2 | 12,0 | 13,0 | 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 | 30,0 | 39,7 | 51,0 | 63,3 | 76,5 |
| ≥30 | 12,5 | 13,7 | 17,0 | 22,9 | 31,0 | 41,6 | 53,8 | 68,2 | 83,6 |

Все данные представляем в формуле

$$\sqrt{\left(\sigma/\sigma_{кр}+\sigma_{м}/\sigma_{мкр}\right)^2+\left(\tau/\tau_{кр}\right)^2}=\sqrt{\left(\frac{16,22}{43,95}+\frac{7,9}{21}\right)^2+\left(\frac{4,67}{8,72}\right)^2}=0,92<\gamma=1.$$

Проверка показала, что устойчивость стенки обеспечена, и постановка ребра жесткости на расстоянии a = 264,6 >$2h_{ст}$=2·126=252 см возможна.

**4.5 Пример: Расчет монтажного стыка на высокопрочных болтах**

Требуется рассчитать монтажный стык сварной балки на высокопрочных болтах.

Стык делаем в середине пролета балки, где *M = 327600 кН * см = 3276 кН*м*, и *Q = 0* .( 4.1 Пример )

Стык осуществляем высокопрочными болтам *d =20 мм* из стали 40 *Х « селект»*, имеющий по табл. 1.4 $R^{н}_{в}$ *= 1100 МПа = 110 кН / см*$^2$ ; обработка поверхности газопламенная.

Таблица 4.4 Коэффициенты стыка стенки балок

| К | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| α | 1,40 | 1,55 | 1,71 | 1,87 | 2,04 | 2,20 | 2,36 | 2,52 | 2,69 | 2,86 |

Таблица 4.5 Механические свойства высокопрочных болтов

| Диаметр болтов | Нормативное временное сопротивление $R^{н}_{в}$ Материал болтов из сталей, Мпа | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40 Х «селект» | 38 ХС « селект» | 40 ХФА « селект» | 30 ХЗМФ |
| 16 -27 | 1100 | 1350 | 1350 | 1550 |
| 30 | 950 | - | - | 1200 |

Несущая способность болта, имеющего две плоскости трения, по формуле

$$Q^{вб}=R_{р}^{вб}A_{нт}^{б}\left(\gamma_{б}\mu/\gamma_{н}\right)=77*2,45*0,85*\frac{0,42}{1,02}2=132кН\ 132\ кН,$$

где $R_{р}^{вб}$ *= 0.7*$R^{н}_{в}$ *= 0.7*110 =77 кН / см* $^2$( по табл 4.5) , $A^{б}_{нт}$ *= 2.45 см*$^2$*;* $\gamma_{б}$ *= 0.85.* [8 ]так как разница в номинальных диаметрах отверстия и болта меньше

болта на 1 см; $\mu = 0,42$ и $\gamma_н = 1.02$ ; принимая способ регулирования натяжения болта по углу закручивания, $k = 2$ – две плоскости трения.

***Стык поясов***. Каждый пояс балки перекрываем тремя накладками сечениями $450\times12$ *мм и* $2\times195\times12$ *мм,* общей площадью сечения

Усилие в поясе определяем по формуле:

$M_n = M^* I_n / I = 3276 * 737280 / 903978 = 2671.9$ *кН м ;*

$N_n = M_n / h_0 = 2672 / 1.28 = 2087.5$ *кН*

Количество болтов для прикрепления накладок рассчитывается по формуле

$n = N n / Q^{вб} = 2087.5 / 132 = 15.8$

Принимаем 16 болтов и размещаем симметрично от центра накладок.

***Стык стенки***. Стенку перекрываем двумя вертикальными накладками сечением - *360* 1200*8*

Момент, действующий на стенку, определяем по формуле

$M_{ст} = M^* I_{ст} / I = 3276*166698 / 903978 = 604.1$ *кН м,*

Принимаем расстояние между крайними по высоте рядами болтов

$\alpha_{max} = 1260 – 2* 80 = 1100$ *мм.*

Из формулы находим коэффициент стыка $\alpha$

$\alpha = M_{ст} / m\alpha_{max} Q^{вб} = 60410 / 2 * 110* 132= 2.08$

из таблицы 4.4 находим количество рядов болтов по вертикали k при $\alpha = 2.08$. $k=11$ $\alpha= 2.20 >2.08$. Принимаем 11 рядов с шагом 100 мм. Проверяем стык стенки по формуле

$$N_{\max} = M_{ст} \frac{a_{\max}}{m\sum a_i^2} = 604{,}1\frac{1{,}1}{2*2{,}66} < Q^{вб}$$

где $\sum a_i^2 = a_{\max}^2 \alpha = 1{,}1^2 * 2{,}2 = 2{,}66 м^2$ .

Проверяем ослабление нижнего растянутого пояса отверстиями под болты $d_0 = 22$ *мм* ( на *2 мм* больше диаметра болта ).

Пояс ослаблен четырьмя отверстиями по краю стыка

$A_{п.нт} = 4,.0 ( 45 – 2*2,.2 ) = 162,.4$ *см*$^2 > 0,85* A_п = 76,.5$ *см*$^2$.

Проверяем ослабление накладок в середине стыка четырьмя отверстиями

$A_{нт}^{накл} = 100{,}8 – 4*2*1{,}2*2.2 = 79{,}68$ см$^2 > 0{,}85 *A_п = 76{,}5$ см$^2$.

## 4.6. Пример : Опирание и сопряжение балок

Требуется рассчитать опорное ребро сварной балки (4.1 пример ). Опорная реакция балки $F = Q = 1092$ *кН.*

Определяем площадь смятия торца ребра по формуле

$A_p = F / R_{см.т} = 1092 / 35 = 31.5$ *см*$^2$ ,

где $R_{см.т} = 35$*кН* - расчетное сопротивление смятию торцевой поверхности по приложению 1.

Принимаем ребро- $A_{p=} b_p *t_p= 30* 1.2 = 36$ *см*$^2$ . Проверяем опорную стойку балки на устойчивость относительно оси $z$ . Ширина участка стенки, включенной в работу опорной стойки:

$A_{ст} = A_p + t_{ст} b_{ст} = 36 + 1{,}2*18{,}93 = 58{,}72 см^2$

$I_z = (1.2* 30^3 ) / 12 + (18.93*1.2^3 ) /12 = 2700+ 2.73 =2702.73$ *см*$^4$ ;

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_{cm}}} = \sqrt{\frac{2702,73}{58,72}} = 6,88 см,$$

$$\lambda = h_{cm}/i_z = 126/6,88 = 18,58,$$ *по прилож. 4* $\varphi = 0.95$

$$\sigma = \frac{Q}{\varphi A_{cm}} = \frac{1092}{0,95*58,72} = 19,58 кН/см^2 < R = 21 кН/см^2;$$

Рассчитываем прикрепление опорного ребра к стенке балки двухсторонними швами $l_ш = \frac{N}{k_ш \left(\beta R_p^{св}\right)_{\min} \gamma}$ ,

По приложению 4 принимаем $R_{уш}^{св} = 180 МПа = 18 кН/см^2$,

$$R_{ус}^{св} = 165 МПа = 16,5 кН/см^2, \ \beta_ш = 0,9; \ \beta_c = 1,05;$$

$$\beta_ш R_{уш}^{св} = 0,9*21,5 = 19,35 кН/см^2 > \beta_c R_{ус}^{св} = 1,05*16,5 = 17,32 кН/см^2.$$

Определяем катет сварных швов по формуле:

$$k_ш = \frac{1}{\beta_c}\sqrt{\frac{Q}{2*85 R_{ус}^{св}}} = \frac{1}{1,05}\sqrt{\frac{1092}{2*85*16,5}} = 0,59 см.$$

Принимаем шов $k_ш$ = 6 мм, что больше $k_{ш\ \min}$ , приведенного в табл. приложения. Проверяем длину рабочей части шва

$$l_ш = 85\beta_c k_ш = 85*1,05*0,6 = 53,5 см < h_{cm} = 126 см.$$

Ребро привариваем к стенке по всей высоте сплошными швами.

## 5. РАСЧЕТ КОЛОННЫ

### 5.1 Пример расчета колонны - сплошного сечения

$H_к$ = 5, 4 *м* $R$ = 21, 5 *кН/см*$^2$

$\mu = 0,7$ – коэффициент защемления, определяющая продольную силу, действующую на колонну.

$H_0$ = 5, 4 × $\mu$ = 5,4 × 0,7 = 3,78 *м*

$N = q_p \times L$ = 214,12 × 12 = 2568 *кН*

Задаемся гибкостью при $N$ = 2568 *кН* $\lambda$ = 60; → $\varphi$ = 0,82

Определяем требуемую площадь поперечного сечения колонны и радиус инерции

$$A_{треб} = \frac{N}{\varphi \cdot R} = \frac{2568}{0,82 \cdot 21,5} = 145,5 см^2$$

$i_{треб} = H_0/\lambda$ = 378/60 = 6,3 *см*

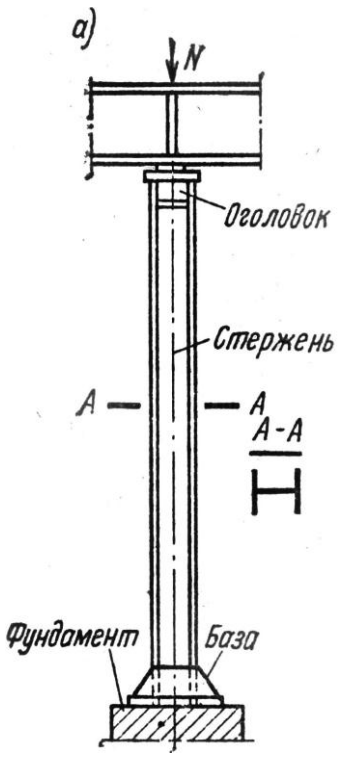



Рис.5.1. Схема колонны работающей на центральное сжатие

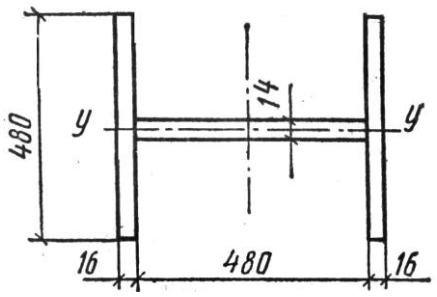



Рис.5.2. Сечение сплошной центрально-сжатой колонны – 1 тип

Определяем генеральные размеры сечения колонны – $\alpha_1$ = 0,43; $\alpha_2$ = 0,24;

$$h_{треб} = \frac{i_{треб}}{\alpha_1} = \frac{6,3}{0,43} = 14,65\ см = 16 = 20\ см$$

$$b_{треб} = \frac{i_{треб}}{\alpha_2} = \frac{6,3}{0,24} = 26,3\ см = 30 = 36\ см$$

$$A = 20 \cdot 1,6 + 2 \cdot 36 \cdot 1,6 = 147,2\ см^2$$

$$I_y = \frac{2 \cdot 1,6 \cdot 36^3}{12} = 12442\ см^4;\ \ i_y = \sqrt{\frac{12442}{147,2}} = 9,2\ см;$$

$$\lambda = \frac{378}{9,2} = 41 \rightarrow \varphi = 0,905$$

$$\sigma = \frac{2568}{0,905 \cdot 147,2} = 19,3 < R = 21.5\ кН/см^2$$

Проверяем местную устойчивость стенки колонны

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R/E} = 41 \sqrt{\frac{21,5}{20600}} = 1,33; \qquad \frac{h_o}{t} = \frac{20}{1,6} = 12,5;$$

$$\frac{h_o}{t} = (\bar{\lambda} + 0,15 \cdot \bar{\lambda}^2) = (1,33 + 0,15 \times 1,33^2) \cdot \sqrt{\frac{20600}{21,5}} = 49,4 > 12,5$$ стенка устойчива

Местная устойчивость полки

$$\frac{b_o}{t_n} = \frac{17,2}{1,6} = 10,75 \neq (0,36 + 0,1 \cdot 1.33) \cdot \sqrt{20600/21,5} = 15,26$$

$$b_o = \frac{b_n}{2} - t_{cm} = \frac{36}{2} - 1,6 = 16,4\,см$$

Полка неустойчива. Устанавливаем поперечные ребра жесткости через *(2,5 ÷ 3)*$h_{cm}$, поперечные ребра жесткости ставим через 60 *см*.

$$A = 2 \cdot 1,6 \cdot 36 + 34,8 = 150\ см^2; \qquad \lambda = \frac{378}{9,2} = 41 \rightarrow \varphi = 0,905$$

$$I_x = 2 \cdot 1,6 \cdot 36 \cdot \left(\frac{24 + 1,6}{2}\right)^2 + 3460 = 192204\,см^4 \qquad I_y = \frac{2 \cdot 1,6 \cdot 36^3}{12} + 198 = 12639\,см^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{192204}{150}} = 35,8\ см; \qquad i_y = \sqrt{\frac{12639}{150}} = 9,2\ см;$$

$$\lambda_{\max} = \frac{H_0}{i_{\min}} = \frac{378}{9,2} = 41 \rightarrow \varphi = 0,902 \qquad \sigma = \frac{2568}{0,902 \cdot 150} = 18,98 < R = 21.5\ кН/см^2$$

Проверяем местную устойчивость стенки колонны

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R/E} = 41 \sqrt{\frac{21,5}{20600}} = 1,33; \qquad \frac{h_o}{t} = \frac{24}{5,6} = 4,3;$$

$$\frac{h_o}{t} = (\bar{\lambda} + 0,15 \cdot \bar{\lambda}^2) = (1,33 + 0,15 \times 1,33^2) \cdot \sqrt{\frac{20600}{21,5}} = 49,53 > 4,3$$ стенка устойчива

Местная устойчивость полки

$$\frac{b_o}{t_n} = \frac{172}{16} = 11,08 \approx (0,36 + 0,1 \cdot 1.33) \cdot \sqrt{20600/21,5} = 15,3$$

$$b_o = \frac{b_n}{2} - t_{cm} = \frac{36}{2} - 1,6 = 16,4\,см$$

Полка неустойчива. Устанавливаем поперечные ребра жесткости, через *(2,5 ÷ 3)*$h_{cm}$, поперечные ребра жесткости ставим через 72 *см*.

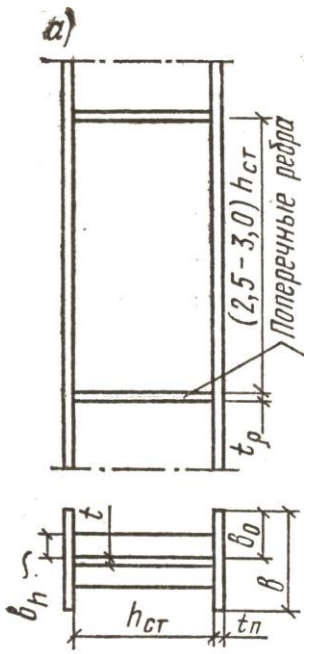



Рис 5.3. Поперечные ребра жесткости в стержне сплошной колонны

## 5.2 Пример расчета колонны - сквозного сечения

Стержень сквозной центрально сжатой колонны состоит из двух ветвей (швеллеров, двутавров, уголков), связанных между собой решетками.

Расстояние между ветвями устанавливается из условия равноустойчивости стержня.

В сквозных колоннах необходимо обеспечивать зазор между полками ветвей (100 – 150 мм) для возможности окраски внутренних поверхностей.

### <u>5.2.1 Вариант III.</u>

Тип сечения III, марка стали Вст3 кп 2; $R = 21{,}5\,кН/см^2$

$$i_x = \alpha_1 \cdot h \quad \alpha_1 = 0{,}52$$

$$i_y = \alpha_2 \cdot b \quad \alpha_2 = 0{,}46$$

1. Определяем усилие, действующее на колонну

   $N = q_p \cdot L = 214 \cdot 12 = 2568\,кН$

2. Расчетная длина колонны

   $Но = \mu \cdot Нк; \qquad \mu = 1$

   $Но = Нк = 540см$

3. В первом приближении задаемся гибкостью $\lambda = 50$

   $\varphi = 0{,}86$

4. Определяем требуемую площадь поперечного сечения колонны и радиус инерции

$$A_{треб} = \frac{N}{\varphi \cdot R} = \frac{2568}{0{,}86 \cdot 21{,}5} = 139см^2;$$

$$i_{треб} = \frac{Но}{\lambda} = \frac{540}{50} = 10{,}8см;$$

$$в_{треб} = \frac{i_{треб}}{\alpha_2} = \frac{10{,}8}{0{,}40} = 27см;$$

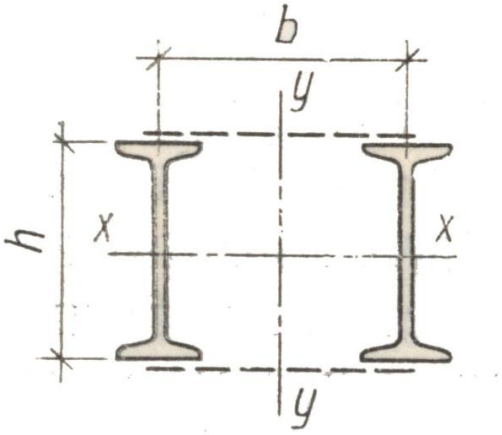



Рис.5.2 Сечение сквозной колонны – III тип

5. По сортаменту принимаем два двутавра №27, то площадь их сечения составит всего $40{,}2 \cdot 2 = 80{,}4\,см^2$ против требуемого $139\,см^2$.

   Поэтому профиль принимаем по признаку соответствия площади, т.е. два двутавра №36 с площадью $A_1 = 61{,}9\,см^2$

   $i_x = 14{,}7\,см; \quad I_x = 13380\,см^4$

   $i_y = 2{,}89\,см; \quad W_x = 743\,см^3$

   $A = 2 \cdot 61{,}9 = 123{,}8\,см^2$;

   $I_y = 516\,см^4$;

   Гибкость относительно оси x

   $$\lambda_x = \frac{540}{14{,}7} = 36{,}7 = 37 \rightarrow \varphi_x = 0{,}91$$

   Проверяем устойчивость относительно оси x

   $$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{2568}{0{,}91 \cdot 123{,}8} = 22{,}79 > 21{,}5$$

   Таким образом площадь двутавра $A = 61{,}9\,см^2$ не удовлетворяет условиям устойчивости, принимаем два двутавра №40 с $A = 72{,}6\,см^2$

   $i_x = 16{,}2\,см; \quad i_y = 3{,}03\,см; \quad g = 57\,кг/м; \quad d = 8{,}3\,мм;$

   $I_x = 19062\,см^4 \quad I_y = 667\,см^4 \quad W_x = 743\,см^2 \quad b = 155\,мм$

   $A = 72{,}6 \cdot 2 = 145{,}2\,см^2$

   $$\lambda_x = \frac{540}{16{,}2} = 33{,}33 \rightarrow \varphi_x = 0{,}93$$

   $$\sigma = \frac{2568}{0{,}93 \cdot 145{,}2} = 19{,}02 см^2 \le R = 21{,}5 кН/см^2$$

6. Расчет относительно свободной оси

   $$\lambda_{пр.x} = \sqrt{\lambda_y^{\,2} + \lambda_в^{\,2}} = \sqrt{33{,}33^2 + 30^2} = 44{,}84$$

   $\lambda_в = 30;$

   $$i_x = \frac{540}{45} = 12 см$$

7. $b_{тр} = \dfrac{i_x}{\alpha_1} = \dfrac{12}{0{,}52} = 23{,}1\,см;$

Из условия покраски – просвет не менее 100 мм

$b_{тр} \geq 2 \cdot 77{,}5 + 100 = 255\ мм;$

8. Проверка устойчивости относительно оси х-х

$$I_x = 2 \cdot \left[ I_x{}' + \frac{A}{2} \cdot \left( \frac{h}{2} \right)^2 \right] = 2 \cdot \left[ 667 + \frac{72{,}6}{2} \cdot \left( \frac{40}{2} \right)^2 \right] = 2 \cdot \left[ 667 + 36{,}3 \cdot (20)^2 \right] = 30374\ см^4$$

9. Расстояние между соединительными планками в свету

$l_{св} = \lambda_в \cdot i_в = 30 \cdot 3{,}03 = 90{,}9 = 90\ см$

Радиус инерции $i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{30374}{145{,}2}} = 14{,}5\ см$

Гибкость стержня $\lambda_x = 540/14{,}5 = 37{,}24$

10. Приведенная гибкость

$\lambda_{привх} = \sqrt{\lambda_x{}^2 + \lambda_в{}^2} = \sqrt{37{,}24^2 + 30^2} = 47{,}83 \rightarrow \varphi = 0{,}88$

Нормальное напряжение

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{2568}{0{,}88 \cdot 145{,}2} \approx 20{,}1 < R = 21{,}5 кН/см^2$$

## Расчет планок

11. Условная поперечная сила

$Q_{усл} = 0{,}2 \cdot A = 0{,}2 \cdot 145{,}2 = 29{,}04\ кН$

12. Поперечная сила, действующая на одну планку

$Q_{пл} = Q_{усл} / 2 = 14{,}52\ кН$

Ширина планок $d_{пл} = 0{,}7 \cdot h = 18{,}2 см,$ принимаем, округляя 200 мм с толщиной $t_{пл} = 10\ мм$

Расстояние между центрами планок

$l = l_{св} + d_{пл} = 90 + 20 = 110\ см$

13. Изгибающий момент и поперечная сила в месте крепления планки

$M_{пл} = Q_{пл} \cdot l / 2 = 14{,}52 \cdot 110 / 2 = 798{,}6\ кН \cdot см$

$F_{пл} = Q_{пл} \cdot l_b / b = 14{,}52 \cdot 110 / 26 = 61{,}43\ кН$

Планки привариваем к двутаврам угловыми швами толщиной

$k_ш = 7\ мм = 0{,}7\ км$

14. Площадь шва

$A_{уш} = k_ш \cdot l_ш = 0{,}7 \cdot (20 - 2 \cdot 0{,}7) = 13{,}02\ см^2$

15. Момент сопротивления шва

$$W_ш = \frac{k_ш \cdot l_ш^2}{6} = \frac{0{,}7 \cdot 18{,}6^2}{6} = 40{,}4\ см^3$$

16. Напряжения в шве от момента и поперечной силы

$\sigma_{уш} = M_{пл} / W_ш = 798{,}6 / 40{,}4 = 19{,}8\ кН/см^2$

$\tau_{уш} = F_{пл} / A_{уш} = 61{,}43 / 13{,}02 = 4{,}72\ кН/см^2$

17.Проверяем прочность шва по равнодействующему напряжению

$$\sigma_ш = \sqrt{19{,}8^2 + 4{,}72^2} = \sqrt{39204 + 22{,}3} = \sqrt{414{,}4} = 20.4\,кН/см^2 < \beta_ш \cdot R_{уш}^{св} = 12{,}6$$

$$R_{уш}{}^{св} = 180 МПа = 18\,кН/см^2$$

$$R_{ус}{}^{св} = 165 МПа = 165\,кН/см^2$$

$$\beta_ш = 0{,}7$$

$$\beta_c = 1{,}0$$

$$\beta_ш \cdot R_{уш}^{св} = 0{,}7 \cdot 18 = 12{,}6\,кН/см^2 < \beta c \cdot R_{ус}^{св} = 1 \cdot 16{,}5 = 16{,}5\,кН/см$$

Т.к. $\sigma_ш > \beta_ш \cdot R_{уш}^{св}$, увеличиваем размеры планок $d_{пл} = 30\,см$; $t_{пл} = 12 мм = 1{,}2 см$;

$$k_ш = 12\,мм = 1{,}2\,см$$

$$A_{уш} = k_ш \cdot l_ш = 1{,}2 \cdot (30 - 2 \cdot 1{,}2) = 33{,}12\,см^2$$

$$W_{уш} = k_ш \cdot l_ш^2 / 6 = 1{,}2 \cdot 27{,}6^2 / 6 = 152{,}4\,см^3$$

$$\sigma_{уш} = M_{пл} / W_{уш} = 798{,}6 / 152{,}4 = 5{,}3\,кН/см^2$$

$$\tau_{уш} = F_{пл} / A_{уш} = 61{,}43 / 33{,}12 = 1{,}85\,кН/см^2$$

$$\sigma_ш = \sqrt{5{,}3^2 + 1{,}85^2} = 5{,}6 < 12{,}6\,кН/см^2$$

## 5.2.2 Вариант IV.

Расчет сквозной колонны, тип сечения колонны IV

Марка стали Вст3 КП2, $R = 21{,}5\,кН/см^2$, $R_{ус}^{св} = 16{,}5\,кН/см^2$

Расчет ведем по схеме

1. Определяем продольную силу

   $$N = q_p \cdot L = 214 \cdot 12 = 2568 кН$$

2. Устанавливаем расчетную схему колонны и ее расчетную длину

   $$H_o = H_к \cdot \mu = 5{,}4 \cdot 1 = 5{,}4\,м = 540\,см$$

3. Задаемся гибкостью $\lambda$ и определяем коэффициент продольного изгиба

   $$\lambda = 50 \rightarrow \varphi = 0{,}86$$

4. Определяем требуемую площадь поперечного сечения колонны и требуемый радиус инерции

   $$A_{треб} = \frac{N}{\varphi \cdot R} = \frac{2568}{0{,}86 \cdot 21{,}5} = 138{,}9 = 140\,см^2$$

   $$i_{треб} = H_o / \lambda = 540 / 50 = 10.8\,см$$

   $$b_{треб} = i_{треб} / \alpha_2 = 10{,}8 / 0{,}43 = 25{,}12\,см$$

5. По сортаменту принимаем 4 уголка равнополочные с $b = 30\,см$ №10 с $t = 10\,мм$; с $A = 19{,}2\,см^2$

   $$I_x = 179\,см^4; \qquad z_o = 2{,}83\,см$$

   $$g = 15{,}1\,кг/м; \qquad i_x \approx 3{,}05\,см; \qquad i_y = 1{,}96\,см$$

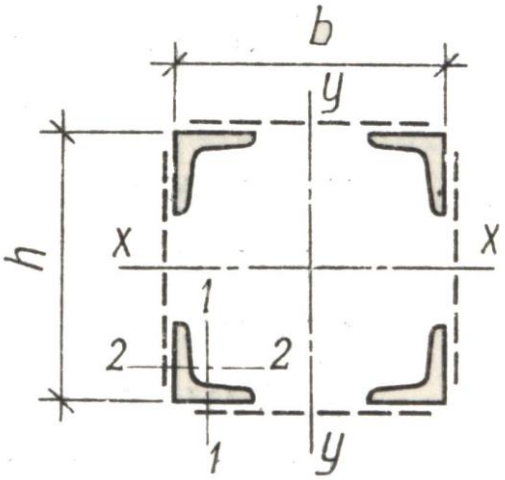



Рис.5.2 Сечение сквозной колонны- IV тип

Площадь поперечного сечения 4-х уголков

$A' = 4 \cdot 19{,}2 = 76{,}8\,см^2$

Площадь сечения, приходящаяся на листовые элементы колонн:

$A_л = A_{треб} - A' = 140 - 76{,}8 = 63{,}2\,см^2$

При ширине листов $b_л = b - 2 \cdot k_ш = 30 - 2 \cdot 1 = 28\,см$

Толщина листов $t_л = \dfrac{A_л}{2b_л} = \dfrac{63{,}2}{2 \cdot 28} = 1{,}13\,см = 1{,}2\,см$

Таким образом площадь сечения колонны:

$A = A_л + A' = 2 \cdot 28 \cdot 1{,}2 + 76{,}8 = 144\,см^2 > 140\,см^2$

Момент и радиус инерции сечения относительно оси х-х

$$I_x = 4 \cdot I_x^{'} + 2A' \cdot (b - z_o)^2 + 2\frac{t_л \cdot b_л^3}{12} = 4 \cdot 179 + 2 \cdot 19{,}2 \cdot (30 - 2{,}83)^2 + 2 \cdot \frac{1{,}2 \cdot 28^3}{12} =$$

$$= 716 + 28347{,}2 + 4390{,}4 = 33454\,см^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 15{,}25\,см;$$

Гибкость $\lambda_x = H_o / i_x = \dfrac{540}{15{,}25} = 33{,}24 \rightarrow \varphi = 0{,}91$

Напряжение $\sigma = \dfrac{N}{\varphi \cdot A} = \dfrac{2568}{0{,}91 \cdot 144} = 19{,}6\,кН/см^2 < R = 21{,}5\,кН/см^2$

6. Расчет относительно свободной оси

Требуемая приведенная гибкость, при гибкости одной ветви

$\lambda_b = 30;$

$$\lambda_{пр.x} = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_b^2} = \sqrt{33{,}24^2 + 30^2} = 44{,}8$$

7. Необходимый радиус инерции $i_x = H_o / \lambda_{пр.x} = \dfrac{540}{44{,}8} = 12{,}1\,см$

8. Требуемое расстояние между осями ветвей колонны

$$b_{тр} = \frac{i_x}{\alpha_1} = \frac{12{,}1}{0{,}43} = 28{,}14\,см$$

Учитывая, что между краями полок уголков должно быть не менее 100мм, из условия покраски колонны, принимаем $b = 30\,см$.

9. Геометрические характеристики сечения колонны относительно свободной оси.

$$I_{x,} = 4 \cdot I_x^{'} + 2 \cdot A' \cdot (b - 2 \cdot z_o)^2 + t_л \cdot b_л \cdot (b + t_л)^2 =$$

$$= 4 \cdot 179 + 2 \cdot 19{,}2 \cdot (30 - 2 \cdot 2{,}83)^2 + 1{,}2 \cdot 28 \cdot (30 + 1{,}2)^2 = 56174\, см^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{56174}{144}} = 19{,}8\, см$$

$$\lambda_x = \frac{540}{19{,}8} = 27{,}3$$

Определяем местоположение центра тяжести сечения ветви

$$X_c = \frac{2 \cdot A' \cdot (z_o + t_л) + t_л \cdot b_л \cdot \frac{t_л}{2}}{2 \cdot A' + t_л \cdot b_л} = \frac{2 \cdot 19{,}2 \cdot (2{,}83 + 1{,}2) + 1{,}2 \cdot 28 \cdot \frac{1{,}2}{2}}{2 \cdot 19{,}2 + 2 \cdot 28} = 2{,}43\, см$$

Момент инерции сечения ветви

$$I_x^в = 2 \cdot A' \cdot (z_o + t_л - X_c)^2 + 2 \cdot I_x + t_л \cdot b_л \cdot \left(X_c - \frac{t_л}{2}\right)^2 + \frac{b_л \cdot t_л^{\ 3}}{12} =$$

$$= 2 \cdot 19{,}2 \cdot (2{,}83 + 1{,}2 - 2{,}43)^2 + 2 \cdot 179 + 1{,}2 \cdot 28 \cdot \left(2{,}43 - \frac{1{,}2}{2}\right)^2 + \frac{28 \cdot 1{,}2^3}{12} = 573\, см^4$$

Площадь поперечного сечения ветви

$$A_в = \frac{A}{2} = \frac{144}{2} = 72\, см^2$$

Радиус инерции сечения ветви

$$i_x^в = \sqrt{\frac{I_x^в}{A_в}} = \sqrt{\frac{573}{72}} = 2{,}82\, см$$

Расстояние между соединительными планками в свету

$$b_{св} = \lambda_в \cdot i_x = 30 \cdot 2{,}28 = 84{,}6\, см = 85\, см$$

10. Приведенная гибкость колонны

$$\lambda_{пр.x} = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_в^2} = \sqrt{27{,}3^2 + 30^2} = 41$$

$$\lambda_{пр.x} = 41 \rightarrow \varphi = 0{,}9$$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{2568}{0{,}9 \cdot 140} = 19{,}81\, кН/см^2 < R = 21{,}5\, кН/см^2$$

## Расчет планок

11. Условная поперечная сила

$$Q_{усл} = 0{,}2 \cdot A = 0{,}2 \cdot 144 = 28{,}8\, кН$$

12. Поперечная сила, действующая на одну планку

$$Q_{пл} = Q_{усл} / 2 = 28{,}8 / 2 = 14{,}4\, кН$$

Ширина планок $d_{пл} = 0{,}7 \cdot b = 0{,}7 \cdot 30 = 21\, см$

Принимаем 21 см с толщиной $t_{пл} = 10\, мм = 1\, см$

Расстояние между центрами планок

$$l = l_{св} + d_{пл} = 85 + 21 = 106\, см$$

13. Изгибающий момент и поперечная сила в месте прикрепления планки

$$M_{пл} = \frac{Q_{пл} \cdot l}{2} = \frac{14{,}4 \cdot 106}{2} = 763{,}2\ кН \cdot см$$

$$F_{пл} = \frac{Q_{пл} \cdot l}{b_o} = \frac{14{,}4 \cdot 106}{27{,}2} = 56{,}12\ кН$$

Где $b_o = b - z_o = 30 - 2{,}83 = 27{,}17 = 27{,}2\ см$

14. Привариваем к уголкам угловыми швами толщиной $k_ш = 10\ мм$

    Площадь шва $A_{уш} = k_{ш.} \cdot l_ш = (d_{пл} - 2 \cdot k_ш) = (21 - 2 \cdot 1) = 19\ см^2$

    $R_{уш}^{св} = 180\ МПа = 18\ кН/см^2$

    $R_{ус}^{св} = 16{,}5\ кН/см^2$

    $\beta_ш = 0{,}7$

    $\beta_c = 1$

    $\beta_ш \cdot R_{уш}^{св} = 0{,}7 \cdot 18 = 12{,}6\ кН/см^2 < \beta_c \cdot R_{ус}^{св} = 1 \cdot 16{,}5\ кН/см^2$

    Момент сопротивление шва

    $W_ш = k_ш \cdot l_ш^2 / 6 = 1 \cdot (21 - 2 \cdot 1)^2 / 6 = 60{,}2\ см^3$

15. Напряжение в шве от момента и поперечной силы

    $\sigma_{уш} = M_{пл} / W_ш = 763{,}2 / 60{,}2 = 12{,}7\ кН/см^2$

    $\tau_{уш} = F_{пл} / A_{уш} = 56{,}12 / 19 = 2{,}95\ кН/см^2$

16. Проверяем прочность шва по равнодействующему направлению

    $\sigma_ш = \sqrt{\sigma_{уш}^2 + \tau_{уш}^2} = \sqrt{12{,}7^2 + 2{,}95^2} = 13{,}04 < 16{,}5 = R_{ус}^{св}$

## 6.РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ БАЗЫ КОЛОННЫ.

### 6.1. <u>ПРИМЕР :</u>Расчет и конструирование базы колонны

По конструктивному решению базы могут быть с траверсой, с фрезерованным торцом и с шарнирным устройством. Толщина плиты определяется расчетом и принимается в переделах 20 - 160 *мм* и устанавливается размеры плиты.

1. Определяем расчетное давление на фундамент с учетом, собственного веса колонны.

   $N_ф = N + N_к = 2572{,}2 + (0{,}36 \cdot 0{,}016 \cdot 2 + 0{,}2 \cdot 0{,}016) \cdot 6{,}2 \cdot 78{,}5 = 2579{,}36\ кН$

   Бетон фундамента марки М 150, $R_{призм} = 7\ МПа = 0{,}7\ кН/см^2$

2. Требуемую площадь плиты базы

   $A_{пл.тр.} = N_ф / (R_{призм} \cdot \gamma) = 2579{,}36 / (0{,}7 \cdot 1{,}2) = 3070{,}67\ см^2$

   Принимаем площадь плиты $A_{пл.} = 48 \times 65 = 3120\ см^2$ принимаем площадь по обрезу фундамента $A_ф = 60 \times 80 = 4800\ см^2$

   Корректируем коэффициент $\gamma$:

   $\gamma = \sqrt{A_ф / A_{пл.}} = \sqrt{4800 / 3120} = 1{,}24 \approx 1{,}2$

3. Рассчитываем напряжения под плитой базы

   $\sigma_ф = N_ф / A_{пл} = 2579{,}36 / 3120 = 0{,}83\ кН/см^2 \approx R_{пр.} \cdot \gamma = 0{,}7 \cdot 1{,}24 = 0{,}868\ кН/см^2$

4. Вычисляем изгибающие моменты на разных участках, для определения толщины плиты.

   Участок 1.

   Опертый на 4 стороны, отношение сторон $b/a = 20/16{,}4 = 1{,}22$; $a = b_o$

   $\alpha = 0{,}065$ по таблице 8.6.

   $M_{пл.1} = \alpha \cdot q \cdot a^2 = 0{,}065 \cdot 0{,}868 \cdot 16{,}4^2 = 15{,}1\, кН \cdot см$ $\qquad q = \sigma_ф = 0{,}868\, кН/см^2$

   Участок 2.

   Опертый на 3 стороны, отношение сторон $b/a = 36/12{,}4 = 2{,}9 > 2$

   $a = \dfrac{b_{пл} - b_{пл.к.} - 2t_{ст.}}{2} = \dfrac{480 - 200 - 2 \cdot 16}{2} = 124\, мм$, $\qquad b = b_n = 360\, мм$

   $M_{пл.2} = \dfrac{q \cdot l^2}{2} = \dfrac{0{,}868 \cdot 12{,}4^2}{2} = 66{,}7\, кН \cdot см$ $\qquad l = a$

   Участок 3.

   Не проверяем т.к. он имеет меньший консольный свес.

5. Определяем толщину плиты по максимальному моменту.

   $t_{пл} \geq \sqrt{6 \cdot M_{мах} / R} = \sqrt{6 \cdot 66{,}7 / 21{,}5} = 4{,}3\, см$

   Принимаем толщину плиты $t_{пл} = 50\, мм$

6. Прикрепление траверсы к колонне выполняется полуавтоматической сваркой в углекислом газе сварочной проволокой Св08Г2С. Толщины траверс принимаем $t_{тр} = 12\, мм$, высоту траверсы $h_{тр} = 530\, мм$.

   Расчетные характеристики $R^{св}_{уш} = 180\, МПа$; катет шва $k_ш = 9$; $\beta_ш = 0{,}8$; $\beta_c = 1$; $R^{св}_{ус} = 165\, МПа$.

   $\beta_ш \cdot R^{св}_{уш} = 0{,}8 \cdot 18 = 14{,}4\, кН/см^2 < \beta_c \cdot R^{св}_{ус} = 1 \cdot 16{,}5 = 16{,}5\, кН/см^2$

7. Прикрепление траверсы рассчитываем по металлу шва

   $\sigma_ш = N_ф / k_ш \cdot 4 \cdot l_ш = 2579{,}36 / [0{,}9 \cdot 4 \cdot (53 - 2)] = 14{,}0\, кН/см^2$

Проверка прочности швов

$$\sigma_ш = \frac{N_ф}{k_ш \cdot \sum l_ш} = \frac{2579{,}36}{0{,}9 \cdot 2 \cdot [(48-2) + 2 \cdot (12{,}4 - 2) + 2 \cdot (20 - 2) + (36 - 2)]} = 10{,}5 < 14{,}4\, кН/см^2$$

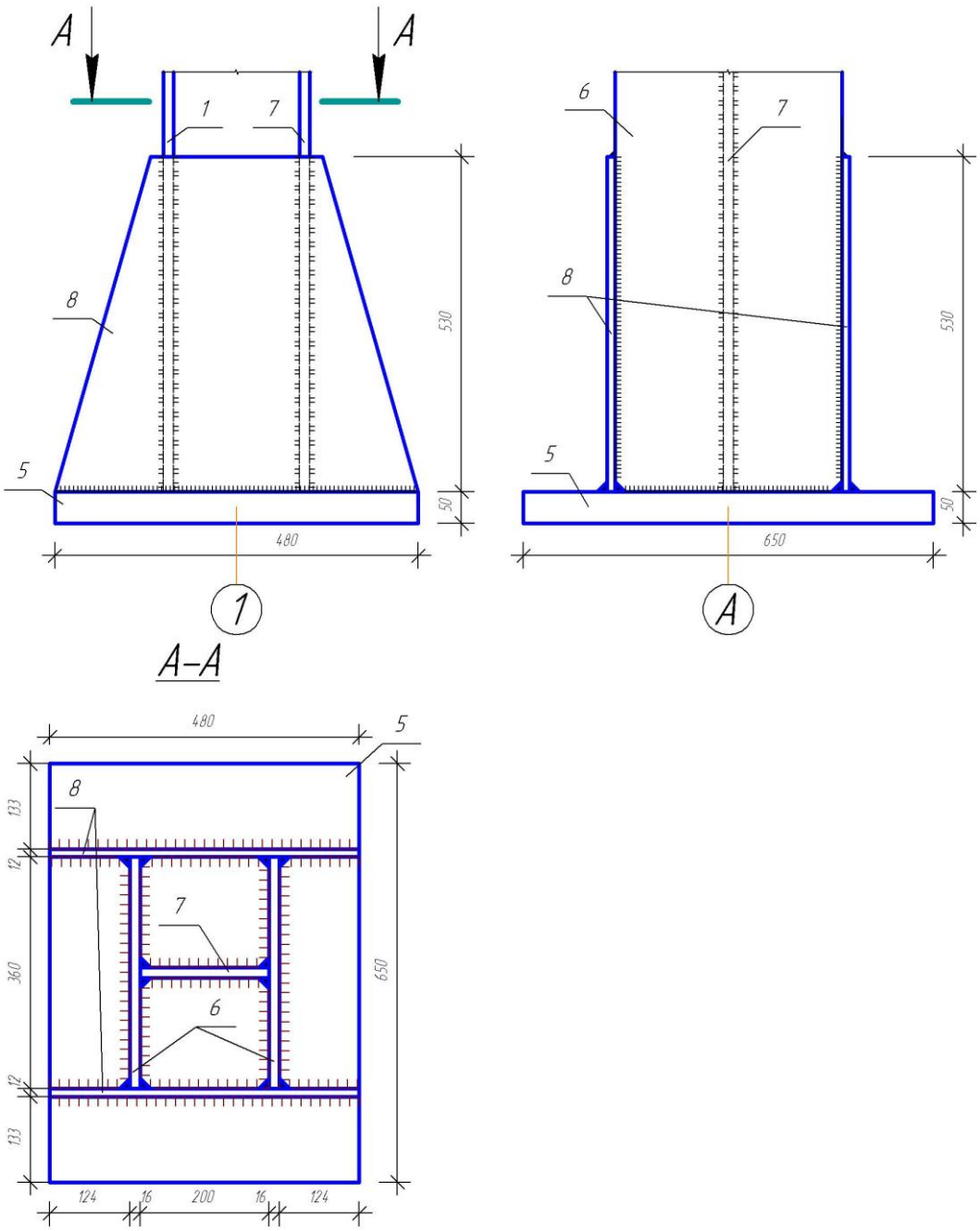



Рис.6.1. База сплошной колонны
5-плита колонны; 6-полки колонны;
7-стенка колонны; 8- траверса колонны.

## 7. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ОГОЛОВКА КОЛОННЫ.

### 7.1. ПРИМЕР : расчет и конструирование оголовка колонны

Высоту ребра оголовка определяют требуемой длине швов, передающих нагрузку на стержень колонны (длина швов не должна быть большей $85 \cdot \beta_{ш} \cdot k_{ш}$):

$$h_p = \frac{N}{4 \cdot k_{ш} \cdot \left(\beta \cdot \gamma_y^{св} \cdot R_y^{св}\right)_{\min} \cdot \gamma} = \frac{2572{,}2}{4 \cdot 0{,}6 \cdot (1 \cdot 1 \cdot 16{,}5) \cdot 1} = 64{,}9\,см \qquad h_p = 65\,см$$

Толщину ребра оголовка определяют из условия сопротивления на смятие под полным опорным давлением:

$$t_p = \frac{N}{l_{см} \cdot R_{см.т.}} = \frac{2572{,}2}{31{,}2 \cdot 35} = 2{,}35\,см \quad l_{см} = 28 + 2 \cdot 1{,}6 = 31{,}2\,см$$

Принимаем $t_p = 2{,}5\,см$

**Марки стали, расчетные сопротивления стали, сварных и болтовых соединений, МПа**

| Марка стали | Вид проката толщиной, мм | ГОСТ или ТУ | $R^н/R^н_в$ | $R$ | $R_{см.т}$ | $R_{ср}$ | $R^{св}_{ус}$ | $R^{б*}_{см}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Вст3Гпс5, Вст3пс6, Вст3сп5 | Лист 21—40 | ГОСТ 380—71 (с изм.) | 225/370 | 215 | 350 | 125 | 165 | 450 |
| Вст3кп2 | Лист 4—20 | | 225/365 | 215 | 350 | 125 | 165 | 440 |
| | » 21—40 | | 215/365 | 205 | 350 | 120 | 165 | 440 |
| | » 41—100 | | 205/365 | 195 | 350 | 115 | 165 | 440 |
| | Фасон 4—20 | | 235/365 | 225 | 350 | 130 | 165 | 440 |
| Вст3пс6-1 | Лист 4—10 | ТУ 14-1-3023-80 | 235/365 | 230 | 355 | 135 | 165 | 440 |
| | » 11—20 | | 235/355 | 230 | 345 | 135 | 160 | 420 |
| | Фасон 4—10 | | 245/370 | 240 | 360 | 140 | 165 | 450 |
| | » 11—20 | | 245/365 | 240 | 355 | 140 | 165 | 440 |
| Вст3пс6-2 | Лист 4—10 | | 275/370 | 270 | 360 | 155 | 165 | 450 |
| | » 11—20 | | 265/365 | 260 | 355 | 150 | 165 | 440 |
| | Фасон 4—10 | | 275/380 | 270 | 370 | 155 | 170 | 465 |
| | » 11—20 | | 275/370 | 270 | 360 | 155 | 165 | 450 |
| Вст3сп5-1, Вст3Гпс5-1 | Лист 4—10 | | 245/365 | 240 | 355 | 140 | 165 | 440 |
| | » 11—20 | | 235/365 | 230 | 355 | 135 | 165 | 440 |
| | Фасон 4—10 | | 255/380 | 250 | 370 | 145 | 170 | 465 |
| | » 11—20 | | 245/370 | 240 | 360 | 140 | 165 | 450 |
| Вст3сп5-2, Вст3Гпс-2 | Лист 4—10 | | 275/380 | 270 | 370 | 155 | 170 | 465 |
| | » 11—20 | | 265/370 | 260 | 360 | 150 | 165 | 450 |
| | Фасон 4—10 | | 285/390 | 280 | 380 | 160 | 175 | 485 |
| | » 11—20 | | 275/380 | 270 | 370 | 155 | 170 | 465 |
| 09Г2С-гр.1 | Лист 4—10 | | 345/490 | 335 | 480 | 195 | 220 | 690 |
| | Фасон 11—20 | | 325/470 | 315 | 460 | 180 | 210 | 645 |
| 09Г2С-гр.2 | Лист 4—10 | | 365/510 | 355 | 500 | 205 | 230 | 735 |
| | » 11—20 | | 345/490 | 335 | 480 | 195 | 220 | 690 |
| | Фасон 4—10 | | 370/520 | 360 | 505 | 210 | 235 | 760 |
| | » 11—20 | | 355/500 | 345 | 490 | 200 | 225 | 710 |
| 09Г2С | Лист 21—32 | ГОСТ 19282—73 | 305/460 | 290 | 440 | 170 | 205 | 625 |
| | » 33—60 | | 285/450 | 270 | 430 | 155 | 200 | 605 |
| 10ХНДП | Лист 4—9 | ГОСТ 19282—73 | 345/470 | 330 | 450 | 190 | 210 | 645 |
| | » 10—16 | ТУ 14-1-1217-75 | 295/440 | 280 | 420 | 160 | 200 | 585 |
| | Фасон 4—12 | ТУ 14-1-389-72 | 345/470 | 330 | 450 | 190 | 210 | 645 |
| 15ХСНД | Лист 4—32 | ГОСТ 19282—73 | 345/490 | 330 | 465 | 190 | 220 | 690 |
| | Фасон 10—32 | ГОСТ 19281—73 | 325/470 | 310 | 450 | 180 | 210 | 645 |
| 14Г2АФ | Лист 4—50 | ГОСТ 19282—73 | 390/540 | 370 | 515 | 215 | 245 | 805 |
| 16Г2АФ | Лист 4—32 | | 440/590 | 400 | 535 | 230 | 265 | 930 |
| | » 33—50 | | 410/570 | 375 | 520 | 220 | 255 | 880 |

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

Материалы для сварки сталей и временнее и расчетные сопротивления металла швов соединений для всех групп конструкций.

| Свариваемые стали с временным сопротивлением $R_в^н$ | Автоматическая и полуавтоматическая | | | Ручная | Расчетное сопротивление на срез металла углового шва $R_{уш}^{св}$, МПа $(кН/см^2)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | под флюсом | | в углекислом газе | Тип электрода | |
| | марки | | | | |
| | флюсов | сварочной проволоки | | | |
| $R_в^н \le 430$ | АН-348-А<br>АН-60* | Св-08А<br>Св-08ГА | - | Э42*; Э42А<br>Э46*; Э46А | 180 (18)<br>200 (20) |
| $430 < R_в^н < 520$ | АН-47<br>АН-17М | Св-08ГА*<br>Св-ЮГА* | Св-08Г2С<br>Св-08Г2СЦ | Э46*; Э46А<br>Э50*; Э50А | 200 (20)<br>215(21,5) |
| $520 < R_в^н$ | АН-348-А*** | Св-ЮГА* | Св-08Г2С<br>Св-08Г2СЦ | Э50*; Э50А | 215(21,5) |
| | | Св-ЮНМА<br>Св-10Г2* | Св-08Г2С**<br>Св-08Г2СЦ** | Э60 | 240 (24) |

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

**Таблица . Коэффициент глубины проплавления угловых швов β**

| Вид сварки при диаметре сварочной проволоки $d$, мм | Положение шва | Коэффициент | Значение коэффициентов $\beta_ш$ и $\beta_с$ при катетах швов, мм | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 3—8 | 9—12 | 14—16 | 18 и более |
| Автоматическая при $d$=3—5 (поясные швы в балках и колоннах) | В лодочку | $\beta_ш$ | 1,1 | | | 0,7 |
| | | $\beta_с$ | 1,15 | | | 1,0 |
| Автоматическая и полуавтоматическая при $d$=1,4—2 (ребра жесткости, стыки балок и колонн, узлы ферм) | Нижнее | $\beta_ш$ | 0,9 | 0,8 | 0,7 | |
| | | $\beta_с$ | 1,05 | 1,0 | | |
| Ручная, полуавтоматическая сплошной проволокой $d \leqslant 1,4$ или порошковой проволокой (узлы балок, колонн, ферм) | В лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное | $\beta_ш$ | 0,7 | | | |
| | | $\beta_с$ | 1,0 | | | |

ПРИЛОЖЕНИЕ 4.

*ПРИЛОЖЕНИЕ*

**Коэффициенты φ продольного изгиба центрально-сжатых элементов**

| Гибкость λ | Коэффициенты φ для элементов из стали с расчетным сопротивлением R, МПа | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 200 | 240 | 280 | 320 | 360 | 400 |
| 10 | 988 | 987 | 985 | 984 | 983 | 982 |
| 20 | 967 | 962 | 959 | 955 | 952 | 949 |
| 30 | 939 | 931 | 924 | 917 | 911 | 905 |
| 40 | 906 | 894 | 883 | 873 | 863 | 854 |
| 50 | 869 | 852 | 836 | 822 | 809 | 796 |
| 60 | 827 | 805 | 785 | 766 | 749 | 721 |
| 70 | 782 | 754 | 724 | 687 | 654 | 623 |
| 80 | 734 | 686 | 641 | 602 | 566 | 532 |
| 90 | 665 | 612 | 565 | 522 | 483 | 447 |
| 100 | 599 | 542 | 493 | 448 | 408 | 369 |
| 110 | 537 | 478 | 427 | 381 | 338 | 306 |
| 120 | 479 | 419 | 366 | 321 | 287 | 260 |
| 130 | 425 | 364 | 313 | 276 | 247 | 223 |
| 140 | 376 | 315 | 272 | 240 | 215 | 195 |
| 150 | 328 | 276 | 239 | 211 | 189 | 171 |

Примечание. Значения коэффициентов φ в таблице увеличены в 1000 раз.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5.

**Таблица . Сталь толстолистовая и универсальная**

| Толщина листов (полос), мм | Ширина листов (полос), мм | Длина листов, мм |
|---|---|---|
| | *Прокатная толстолистовая (выборка из ГОСТ 19903—74 с изм.)* | |
| 6 | 1250; 1400; 1500; 1600; 1800 | 2800: 3500; 4500; 5000; 5500; 6000; 7000 |
| 8 | 1250; 1400; 1500; 1600; 1800; 2000 | 2800; 3500; 4500; 5000; 5500; 6000; 7000 |
| 10 | 1250; 1400; 1500; 1600; 1800; 2000; 2200 | 2800; 3500; 4500; 5000; 5500; 6000; 7000 |
| 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28 | 1400; 1500; 1600; 1800; 2000; 2200 | 4500; 5000; 5500; 6000; 7000; 8000 |
| 30; 32; 36; 40; 50; 60; 80; 100 | 1500; 1600; 1800; 2000; 2200; 2500 | 4500; 5000; 5500; 6000; 7000; 8000 |
| | *Универсальная (по ГОСТ 82—70 с изм.)* | |
| 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 36; 40 | 200; 210; 220; 240; 250; 260; 280; 300; 340; 360; 380; 400; 420; 450; 480; 530; 560; 630; 650; 670; 700; 800; 850; 900; 950; 1000; 1050 | 5000—18000 |

ПРИЛОЖЕНИЕ 6.

| Вид соединения | Вид сварки | Предел текучести свариваемой стали | Минимальные катеты швов $k_ш$ при толщине более толстого из свариваемых элементов, мм | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 4-5 | 6-10 | 11-16 | 17-22 | 23-32 | 33-40 | 41-80 |
| Тавровое с двухсторонними | Ручная | Менее 430 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | | От 430 до 580 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 |
| | Автоматическая и полуавтоматическая | Менее 430 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | | От 430 до 580 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Тавровое с односторонними угловыми швами | Ручная | До 380 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 |
| | Автоматическая и полуавтоматическая | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

## ЛИТЕРАТУРА

1.Кудишин Ю.Н. Металлические конструкции [ Тест]: учеб.Для вузов /Ю.Н.Кудишин, Е.И.Беленя, В.С.Игнатьева и др.; под. Ред. Ю.Н.Кудишина – 10-е изд., стер. М.: Академия, 2007-688с.
2.Квагинндзе В.С. Технология металлов и сварка[ Электронный ресурс]: учебное пособие / Квагинндзе В.С.- Электрон. Тестовые данные. – М.: Издательство Московского государственного горного института, 2004. –с.- Режим доступа http:// www.iprbookshop.ru/ 6678.-ЭБС «IPRbooks», по паролю.
3.Металлические конструкции в 3-х т. Т.1 Элементы конструкций [ Тест]: учеб. Для строит.вузов /В.В.Горев, Б.Ю.Уваров, В.В.Филиппов и др. под. ред.В.В.Горева -2-е изд. , переб. и доп. М.: Высш.шк. 2001-551с.
4.Металлические конструкции в 3-х т. Т.2.Элементы конструкций [ Тест]: учеб. Для строит.вузов /В.В.Горев, Б.Ю.Уваров, В.В.Филиппов и др. под. ред.В.В.Горева -2-е изд. , переб. и доп. М.: Высш.шк. 2001-551с.
5.Металлические конструкции в 3-х т. Т.3 Элементы конструкций [ Тест]: учеб. Для строит.вузов /В.В.Горев, Б.Ю.Уваров, В.В.Филиппов и др. под. ред.В.В.Горева -2-е изд. , переб. и доп. М.: Высш.шк. 2001-551с.
6.Металлические конструкции, включая сварку. Учебно-методическое пособие, для выполнение лабораторных работ, для студентов «Промышленное и гражданское строительство» / Ф.К. Айбазова, -Черкесск:БИЦ СевКавГГТА, 2014.-44с.
7.Туманов А.В. Железобетонные и металлические конструкции. [ Тест]: курс лекций/ Туманов А.В.-Ростов-на Дону:Феникс, 2013.-128с.
8.СНиП II- 23-81*. Стальные конструкции /Госстрой России.-М.:ГУП ЦПП, 2003.-90с.
9.СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия / Госстрой России.-М.:ГУП ЦПП, 2003.-44с

**ДЮРМЕНОВА Светлана Суюновна**

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ, ВКЛЮЧАЯ СВАРКУ**

Методические указания к выполнению курсового проекта ,
для бакалавров
направления подготовки 08.03.01 «Строительство»

Печатается в редакции автора

Корректор Темирлиева Р.М.
Редактор Темирлиева Р.М.

Сдано в набор
Формат 60х84/16
Бумага офсетная.
Печать офсетная.
Усл. печ. л.
Заказ № 2406
Тираж 100экз.

Оригинал-макет подготовлен в Библиотечно-издательском
центре СевКавГГТА
369000, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36