

## Практическая работа №19

**Тема:** Расчет центрально-сжатой колонны из прокатного двутавра

**Цель:** Научиться проводить расчет сварных колонн на прочность и жесткость

### *Порядок выполнения:*

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями
2. Рассчитать и спроектировать центрально-сжатую колонну из прокатного двутавра в соответствии с вариантом
3. Ответить на контрольные вопросы в **письменном** виде
4. Представить **отчет по практической работе и ответы** на контрольные вопросы в электронном виде на проверку в течение трех дней со дня выдачи задания.

С уважением, *Гнатюк Ирина Николаевна*.

При необходимости вопросы можно задать по телефону: 072-136-54-46

Работы отправлять на электронную почту [ira.gnatyuk.60@inbox.ru](mailto:ira.gnatyuk.60@inbox.ru)

### *Теоретические сведения*

#### **Порядок расчета**

1. Выбор прокатного двутавра для стержня колонны

Определить расчетную высоту колонны:

$$l=l_x=l_y=\mu \cdot H, \text{ м}$$

где  $\mu$  - коэффициент расчетной высоты (для случая двух шарнирных креплений колонны  $\mu = 1$ )

Определить нужную площадь поперечного сечения стержня колонны :

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{\varphi * R_y} = \frac{N}{(0,7...0,9)R_y}, \text{ см}^2,$$

где  $N$  - продольная расчетная сила, кН

$R_y = 0,9 \sigma_T$  – расчетное сопротивление заданной стали, кН/см<sup>2</sup> (см. табл. 1).

Необходимо перевести МПа в кН/см<sup>2</sup>, например,  $R_y = 230 \text{ МПа} = 23 \text{ кН/см}^2$

$\varphi_0 = 0,7...0...0,9$ –коэффициент продольного сгиба, принимаем среднее значение  $\varphi_0 = 0,8$

Таблица 1

Расчетные сопротивления листового проката для стальных конструкций

| Марка стали | Толщина проката,<br>мм | Расчетное сопротивление, МПа |                         |
|-------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|
|             |                        | Предел текучести             | Временное сопротивление |
| 09Г2        | 4...10                 | 310                          | 440                     |
|             | 11...20                | 300                          | 430                     |
| ВСт3кп1     | 4...10                 | 220                          | 345                     |
|             | 11...20                | 210                          | 340                     |
| 10Г2С1      | 4...9                  | 330                          | 465                     |
|             | 10...20                | 320                          | 455                     |
| 18пс        | 4...20                 | 230                          | 360                     |
| 14Г2        | 4...9                  | 320                          | 440                     |
|             | 10...32                | 310                          | 430                     |

Определение необходимого минимального радиуса инерции сечения:

$$i = \frac{l}{\lambda_{и}}, \text{ см}$$

где  $\lambda_{и}$  – гибкость стержня колонны (принимается в зависимости от материала колонны и коэффициента продольного изгиба (см. табл. 2)).

Таблица 2

Коэффициент  $\varphi$  продольного изгиба центрально-сжатых элементов

| Гибкость элементов | Расчетные сопротивления $R = 0,9 \sigma_{т}$ , МПа |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    | 200  | 240 | 280 | 320 | 400 | 480 | 520 | 600 |
| 30                 | 939  | 931 | 924 | 917 | 900 | 895 | 891 | 883 |
| 40                 | 906  | 894 | 883 | 873 | 854 | 849 | 832 | 820 |
| 50                 | 869  | 852 | 836 | 822 | 796 | 775 | 764 | 729 |
| 60                 | 827  | 805 | 785 | 766 | 721 | 672 | 650 | 608 |
| 70                 | 782  | 754 | 724 | 687 | 623 | 568 | 542 | 494 |
| 80                 | 734  | 686 | 641 | 602 | 532 | 471 | 442 | 386 |
| 90                 | 665  | 612 | 565 | 522 | 447 | 380 | 349 | 305 |
| 100                | 599  | 542 | 493 | 448 | 369 | 309 | 286 | 250 |
| 110                | 537  | 478 | 427 | 381 | 306 | 258 | 239 | 209 |
| 120                | 479  | 419 | 366 | 321 | 260 | 219 | 203 | 178 |
| 130                | 425  | 364 | 313 | 276 | 223 | 189 | 175 | 153 |
| 140                | 376  | 315 | 272 | 240 | 195 | 164 | 153 | 134 |
| 150                | 328  | 276 | 239 | 211 | 171 | 145 | 134 | 118 |
| 160                | 290  | 244 | 212 | 187 | 152 | 129 | 120 | 105 |
| 170                | 259  | 218 | 189 | 167 | 136 | 115 | 107 | 94  |
| 180                | 233  | 196 | 170 | 150 | 123 | 104 | 97  | 85  |
| 190                | 210  | 177 | 154 | 136 | 111 | 98  | 88  | 77  |
| 200                | 191  | 161 | 140 | 124 | 101 | 86  | 80  | 71  |

**Примечание:** Значения коэффициентов  $\varphi$  в таблице увеличены в 1000 раз

По таблицам сортамента ГОСТ 8239-72 по условиям

$i \approx i_y$  и  $A_{тр} \approx A$  принимаем нормальный двутавр с характеристиками:  $A$ ,  $h$ ,  $b$ ,  $d$ .

Определение фактической гибкости колонны  $\lambda = \frac{l}{i_y} \leq \lambda_{н}$

По фактической гибкости определяем фактический коэффициент продольного изгиба  $\varphi_1$  (см. табл. 2).

Проверка стойкости колонны:  $\sigma = \frac{N}{\varphi_1 A} \leq R_y \cdot v_c$ ,

где  $v_c = 1$  - коэффициент условий работы

Если условие выполняется, принимаем окончательно выбранный двутавровый профиль.

Прочность колонны не проверяем, так как колонна не имеет отверстий.

Местную стойкость стойки и полок не проверяем, так как колонна запроектирована из проката.

## 2. Расчет базы колонны

Определение необходимой площади опорной плиты :

$$A_{оп} = \frac{N}{R_b}, \text{ см}^2$$

где  $R_b = 0,70 \text{ кН/см}^2$  ( 7,0 МПа) - расчетное сопротивление сжатия бетона.

Принимаем конструктивные размеры плиты  $B \times L$ , при условии, которое

$B \times L > A_{оп}$  и определяем фактическую площадь опорной плиты  $A_1$

Проверка нагрузки на фундамент (расчетное давление на  $1 \text{ см}^2$  опорной плиты):  $q = \frac{N}{A_1} \leq R_b$

Если условие выполняется, принимаем окончательно выбранные размеры опорной плиты.

Принимаем базу из стальной плиты с передачей всех усилий через сварные швы и проводим расчет ее по максимальному моменту на консольной части.

Определение момента на консоли:  $M_1 = \frac{q^* a_1^2}{2}$ , кН/ см

где  $a_1$  – расстояние от края плиты до полки двутавра (см. рисунок)

Определение момента на участке, опертой на три стороны в соотношении

$$\frac{b_1}{a} < 0,5 :$$

$$M_2 = \frac{q^* b_1^2}{2}, \text{ кН/ см}$$

где  $b_1$  – расстояние от края плиты до пояса двутавра (см. рисунок)

Для дальнейших расчетов используем значение большего из моментов.

Определение толщины плиты: 
$$t_{пл} = \sqrt{\frac{6M_{max}}{R_y * v_c}}, \text{ см}$$

где  $v_c = 1,2$  -коэффициент условий работы

Окончательно принимаем толщину плиты по ГОСТ 19903-74 (см.табл.3).

Таблица 3

Толстолистовая сталь (ГОСТ 19903-74)

| Размеры листов | Значения размеров, мм   |
|----------------|---|
| Длина          | 2000, 2500, 2800, 3000, 3500, 4000, 4200, 4500, 5000, 5500, 6000, 6500, 7000, 7500, 8000                            |
| Ширина         | 600, 710, 100, 1250, 1400, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000 |
| Толщина        | 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 40, 50, 60, 80, 100                                  |

## 2. Расчет катета шва

Определение длины сварных швов  $\Sigma L_{шва}$  согласно выбранному профилю двутавра ( см. рисунок):

$$\Sigma L_{шва} = 2(2b + h - d), \text{ см}$$

Определение высоты катета шва:

$$k_f = \frac{N}{\Sigma L_{шва} * \beta_f * R_{wf} * v_{wf} * v_c}, \text{ см}$$

$\beta_f$  – коэффициент, который зависит от способа сварки (см. табл..4)

Таблица 4

Значения коэффициентов  $\beta_f$  и  $\beta_z$

| Сварка  | Диаметр сварочной проволоки d, мм | Положение шва   | Коэффициент | Значения $\beta_f$ и $\beta_z$ при катетах швов, мм |      |       |            |
|---|-----------------------------------|---|-------------|---|------|-------|------------|
|   |                                   |   |             | 3-8   | 9-12 | 14-16 | 18 и более |
| Автоматическая  | 3-5                               | В «лодочку»   | $\beta_f$   | 1,1   |      |       | 1,07       |
|   |                                   |   | $\beta_z$   | 1,15  |      |       | 1,0        |
|   |                                   | Нижнее  | $\beta_f$   | 1,1   | 0,9  | 0,7   |            |
|   |                                   |   | $\beta_z$   | 1,15  | 1,05 | 1,0   |            |
| Автоматическая и полуавтоматическая   | 1,4-2                             | В «лодочку»   | $\beta_f$   | 0,9   | 0,8  | 0,7   |            |
|   |                                   |   | $\beta_z$   | 1,05  | 1,0  |       |            |
|   |                                   | Нижнее  | $\beta_f$   | 0,9   | 0,8  | 0,7   |            |
|   |                                   |   | $\beta_z$   | 1,05  | 1,0  |       |            |
| Ручная полуавтоматическая паволокой:<br>- сплошного сечения<br>- порошковой | Более 1,4<br>-                    | В лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное<br>потолочное | $\beta_f$   | 0,7   |      |       |            |
|   |                                   |   | $\beta_z$   | 1,0   |      |       |            |

$R_{wf}$  – расчетное сопротивление металла шва сварных соединений с угловыми швами ( см. табл.5)

$v_c = v_{wf} = 1$  -коэффициента условий работы колонны и сварного шва

Высоту катету шва необходимо принимать не меньше чем 6 мм (0,6 см)

Таблица 5

Нормативные расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами

| Сварочные материалы                   |   | $R_{wun}$ | $R_{wf}$ |
|---------------------------------------|---|-----------|----------|
| Тип электрода ( по ГОСТ 9467-75)      | Марка проволоки                                 | МПа       |          |
| Э42, Э42А,<br>Э46, Э46А,<br>Э50, Э50А | СВ.08, СВ.08А,                                  | 410       | 180      |
|                                       | СВ.08ГА,  | 450       | 200      |
|                                       | СВ.10ГА, СВ.08Г2С, СВ.08Г2СЦ,<br>ПП-АН8, ПП-АН3 | 490       | 215      |
| Э60                                   | СВ.08Г2С*, СВ.08Г2СЦ*,<br>Св.10НМА, Св.10Г2     | 590       | 240      |
| Э710                                  | Св.10ХГ2СМА, Св. 08ХН2ГМЮ                       | 685       | 280      |
| Э85                                   | -   | 835       | 340      |

Примечание: \* - только для однопроходных швов с катетом  $k_f \leq 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 МПа и более

**Задание для практической работы**

Провести расчет центрально-сжатой колонны из прокатного двутавра, если известно усилие  $N$  и высота колонны  $H$ . Колона шарнирно закреплена снизу и сверху. Бетон фундамента марки М150, расчетное сопротивление сжатию бетона  $R_b = 0,70 \text{ кН/см}^2 (=7,0 \text{ МПа})$ .

Исходные данные по вариантам

| № варианта | $N$ , кН | $H$ , м | Способ сварки      | Материал |
|------------|----------|---------|--------------------|----------|
| 1          | 488      | 1,5     | Ручная             | 09Г2     |
| 2          | 489      | 1,6     | П / автоматическая | 18пс     |
| 3          | 490      | 1,7     | Ручная             | ВСт3кп1  |
| 4          | 491      | 1,8     | П / автоматическая | 14Г2     |
| 5          | 492      | 1,9     | Ручная             | 10Г2С1   |
| 6          | 493      | 2,0     | П / автоматическая | 09Г2     |
| 7          | 494      | 2,1     | Ручная             | 18пс     |
| 8          | 495      | 2,2     | П / автоматическая | ВСт3кп1  |
| 9          | 496      | 2,3     | Ручная             | 14Г2     |
| 10         | 497      | 2,5     | П / автоматическая | 10Г2С1   |
| 11         | 498      | 1,5     | Ручная             | 09Г2     |
| 12         | 499      | 1,6     | П / автоматическая | 18пс     |
| 13         | 500      | 1,7     | Ручная             | ВСт3кп1  |
| 14         | 501      | 1,8     | П / автоматическая | 14Г2     |
| 15         | 502      | 1,9     | Ручная             | 10Г2С1   |

## Пример выполнения практической работы

Провести расчет центрально-сжатой колонны из прокатного двутавра, если известно усилие  $N = 400$  кН и высота колонны  $H = 1,5$  м. Колонна шарнирно закреплена снизу и сверху. Бетон фундамента марки М150, расчетное сопротивление сжатию бетона  $R_b = 0,70$  кН/см<sup>2</sup> ( $= 7,0$  МПа). Материал колонны - сталь Вст3псб-1.

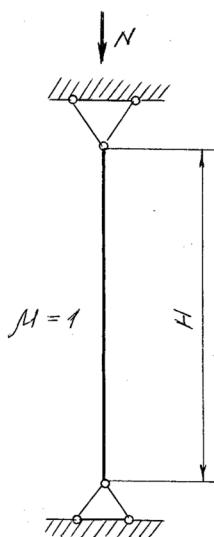


Рисунок 1 - Схема колонны

1. Выбор прокатного двутавра для стержня колонны

1.1. Расчетная высота колонны:

$$l = l_x = l_y = \mu \cdot H = 1 \cdot 300 = 300 \text{ см}$$

где  $\mu = 1$  - коэффициент расчетной высоты в случае двух шарнирных креплений колонны)

1.2. Необходимая площадь поперечного сечения стержня колонны :

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{\varphi \cdot R_y} = \frac{N}{(0,7 \dots 0,9) R_y} = \frac{400}{0,8 \cdot 19,8} = 25,2 \text{ см}^2,$$

где  $N$  - продольная расчетная сила, кН

$R_y = 0,9 \sigma_T = 0,9 \cdot 22 = 19,8$  кН/см<sup>2</sup> - расчетное сопротивление заданной стали (см. табл. 1).

$\varphi_0 = 0,7 \dots 0,9$  - коэффициент продольного сгиба, принимаем среднее значение  $\varphi_0 = 0,8$

1.3. Необходимый минимальный радиус инерции сечения:

$$i = \frac{l}{\lambda_{\text{и}}} = \frac{300}{70} = 4,29 \text{ см}$$

где  $\lambda_{\text{и}} = 70$  - гибкость стержня колонны (принимается в зависимости от материала колонны и коэффициента продольного сгиба (см. табл. 2).

За таблицами сортамента (ГОСТ 8239-72) по условиям  $i \approx i_y$  и  $A_{\text{тр}} \approx A$

принимаем двутавр №22 с характеристиками:

$$A = 30,6 \text{ см}^2, h = 22 \text{ см}, b = 11 \text{ см}, d = 5,4 \text{ см}, i_y = 2,27 \text{ см}$$

1.4. Фактическая гибкости колонны

$$\lambda = \frac{l}{i_y} = \frac{150}{2,27} = 66,1 \leq \lambda_{\text{н}}$$

По фактической гибкости определяем фактический коэффициент продольного изгиба  $\varphi_1 = 0,79$  (см. табл. 2).

1.5. Проверка стойкости колонны:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_1 A} \leq R_y * v_c,$$

где  $v_c = 1$  - коэффициент условий работы

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_1 A} = \frac{400}{0,81 * 30,6} = 16,3 \text{ кН/см}^2 \leq R_y * v_c = 19,8 \text{ кН/см}^2$$

Условие выполняется, поэтому принимаем окончательно выбранный двутавровый профиль №22

Прочность колонны не проверяем, так как колонна не имеет отверстий.

Местную стойкость стойки и полки не проверяем, так как колонна запроектирована из проката.

2. Расчет базы колонны

2.1. Определение необходимой площади опорной плиты :

$$A_{\text{оп}} = \frac{N}{R_b} = \frac{400}{0,7} = 574 \text{ см}^2$$

где  $R_b = 0,70 \text{ кН/см}^2 (= 7,0 \text{ МПа})$  - расчетное сопротивление сжатию бетона.

Принимаем конструктивные размеры плиты  $B \times L = 16 \times 36$ ,

Фактическая площадь опорной плиты  $A_1 = 16 \times 36 = 576 \text{ см}^2$

2.2. Проверка нагрузки на фундамент (расчетное давление на  $1 \text{ см}^2$  опорной плиты):

$$q = \frac{N}{A_1} = \frac{400}{576} = 0,69 \leq R_b = 0,70 \text{ кН/см}^2$$

Условие выполняется, поэтому принимаем окончательно выбранные размеры опорной плиты.

Принимаем базу из стальной плиты с передачей всех усилий через сварные швы и проводим расчет ее по максимальному моменту на консольной части.

2.3. Определение момента на консоли:

$$M_1 = \frac{q * a_1^2}{2} = \frac{0,69 * 7^2}{2} = 16,9 \text{ кН*см}$$

где  $a_1 = 0,5(L-h) = 0,5(36-22) = 7 \text{ см}$  – расстояние от края плиты до полки двутавра (см. рисунок)

2.4. Определение момента на участке, опертой на три стороны в соотношении  $\frac{b_1}{a} = \frac{5,23}{20,32} = 0,25 < 0,5$  :

$$M_2 = \frac{q * b_1^2}{2} = \frac{0,69 * 5,23^2}{2} = 9,4 \text{ кН* см}$$

где  $b_1 = 0,5(B-d) = 0,5(11-0,54) = 5,23$  см – расстояние от края плиты до пояса двутавра (см. рисунок)

$$a = h - 2 * t = 22 - 2 * 0,87 = 20,32 \text{ см}$$

Для дальнейших расчетов используем значение большего из моментов, т.е.  $M_1 = 16,9$  кН/ см

2.5. Толщина плиты:

$$t_{\text{шт}} = \sqrt{\frac{6M_{\text{max}}}{R_y * v_c}} = \sqrt{\frac{6 * 16,9}{19,8 * 1,2}} = 2,065 \text{ см}$$

где  $v_c = 1,2$  -коэффициент условий работы

Окончательно принимаем толщину плиты за ГОСТ 19903-74 (см. табл.3).  $t_{\text{шт}} = 22$  мм

### 3. Расчет катета шва

3.1. Определение длины сварных швов  $\Sigma L_{\text{шва}}$  согласно выбранному профилю двутавра ( см. рисунок):

$$\Sigma L_{\text{шва}} = 2(2b + h - d) = 2(2 * 11 + 22 - 5,4) = 77,2 \text{ см}$$

3.2. Определение высоты катета шва:

$$k_f = \frac{N}{\Sigma L_{\text{шва}} * \beta_f * R_{wf} * v_{wf} * v_c} = \frac{400}{77,2 * 0,7 * 18} = 0,41 \text{ см}$$

$\beta_f = 0,7$  – коэффициент, который зависит от способа сварки (см. табл..4)

$R_{wf} = 180$  МПа =  $18$  кН/см<sup>2</sup> – расчетное сопротивление металла шва сварных соединений с угловыми швами ( см. табл. 5)

$v_c = v_{wf} = 1$  -коэффициента условий работы колонны и сварного шва

Принимаем высоту катету шва  $k_f = 6$  мм



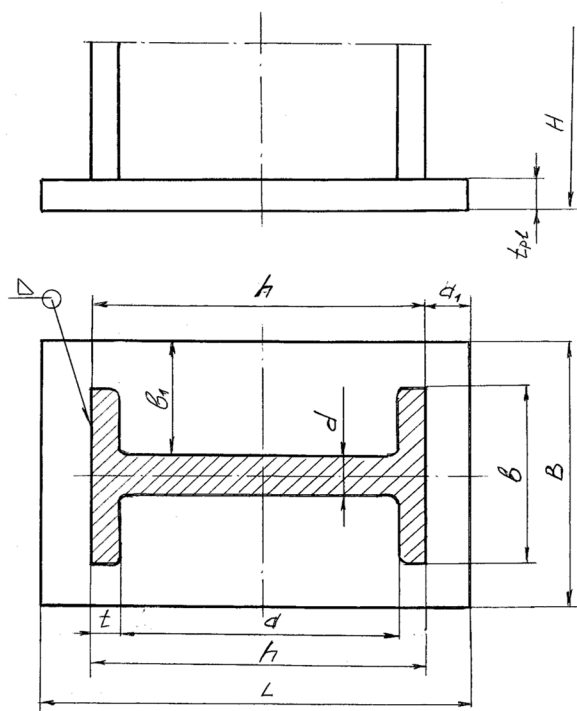


Рисунок 2 – Чертеж и сечение колонны

**Контрольные вопросы:**

- 1 Какие элементы конструкции называют стойками?
- 2 Какие типы сечений применяют для стоек при небольших и больших усилиях?
- 3 Что называется гибкостью стойки? Какую размерность она имеет?
- 4 Что называется радиусом инерции поперечного сечения и как он определяется? Какую имеет размерность?
- 5 Какие допускаемые напряжения применяются при расчете стоек? Что такое коэффициент  $\varphi$ ?
- 6 Зависит ли коэффициент  $\sigma_p$  от марки металла, гибкости? От каких еще параметров зависит коэффициент  $\varphi$ ?
- 7 Как определяется гибкость в зависимости от опорных закреплений стоек?
- 8 Как определяется допускаемое усилие сжатия в стойке заданного сечения при заданном допускаемом напряжении?
- 9 Как подбирают сечение в сжатой стойке при заданном усилии и допускаемом напряжении?
- 10 Можно ли выполнять соединительные швы стоек прерывистыми? Удобно ли это в технологическом отношении? Какие размеры катетов швов могут быть рекомендованы?