

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Агафонов Александр Викторович

Должность: директор филиала

Дата подписания: 01.09.2023 10:55:18

Уникальный программный ключ:

2539477a8ecf706dc9cff164bc411eb6d3c4ab06

"МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"

Чебоксарский институт (филиал)



**МОСКОВСКИЙ  
ПОЛИТЕХ**

Чебоксарский институт

Кафедра строительного производства

# **МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОТНЫХ И БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

**Методические указания для выполнения РГР по дисциплине  
«Металлические конструкции высотных и большепролетных зданий и  
сооружений» для специальности 08.05.01 Строительство уникальных  
зданий и сооружений, студентами очной формы обучения.**

Чебоксары 2023

**Металлические конструкции высотных и большепролетных зданий и сооружений:** Методические указания к выполнению РГР по дисциплине «Металлические конструкции высотных и большепролетных зданий и сооружений» /Сост. Петрова И.В., Гоник Е.Г. – Чебоксары: ЧИ (Ф) МПУ, 2023. 35 с.

Методические указания соответствуют государственным образовательным стандартам направления специальности 08.05.01. Строительство уникальных зданий и сооружений по специализации «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений».

В методических указаниях рассматриваются вопросы конструирования и расчета балочной клетки перекрытия и колонны многоэтажного здания производственного назначения. Методические указания разработаны для углубления знаний студентов по изучаемой дисциплине и оказания помощи в выполнении РГР.

Методические указания предназначены для студентов дневной формы обучения.

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....   | 3  |
| 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА .....   | 4  |
| 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ БАЛОЧНОЙ КЛЕТКИ ПЕРЕКРЫТИЯ .....                         | 5  |
| 2.1. Второстепенная балка перекрытия .....   | 5  |
| 2.1.1. Конструктивная и расчетная схемы .....  | 5  |
| 2.1.2. Подбор поперечного сечения из условия прочности .....                         | 5  |
| 2.1.3. Проверка условия жесткости балки .....  | 7  |
| 2.2. Главная балка перекрытия .....  | 8  |
| 2.2.1. Конструктивная и расчетная схемы .....  | 8  |
| 2.2.2. Подбор поперечного сечения .....  | 8  |
| 2.2.3. Проверка прочности сечения по нормальным напряжениям .....                    | 10 |
| 2.2.4. Конструирование балки переменного сечения. Построение эпюры материалов.....   | 11 |
| 2.2.5. Проверка прочности уменьшенного сечения балки по касательным напряжениям..... | 12 |
| 2.2.6. Проверка прочности по приведенным напряжениям .....                           | 14 |
| 2.2.7. Проверка прочности сварных швов.....  | 15 |
| 2.2.8. Проверки устойчивости балки .....   | 15 |
| 2.2.9. Расчет опорного ребра главной балки .....                                     | 16 |
| 2.2.10. Расчет и конструирование монтажного стыка .....                              | 18 |
| 2.3. Центральнo-сжатая колонна.....  | 21 |
| 2.3.1. Конструктивная и расчетная схемы.....   | 21 |
| 2.3.2. Определение расчетной нагрузки на колонну .....                               | 22 |
| 2.3.3. Определение размеров поперечного сечения колонны .....                        | 23 |
| 2.3.4. Проверка общей устойчивости колонны относительно оси $x$ .....                | 24 |
| 2.3.5. Проверка местной устойчивости элементов колонны .....                         | 24 |
| 2.3.6. База колонны с траверсами .....   | 25 |
| 3. ГРАФИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ РГР.....   | 31 |
| Библиографический список.....  | 31 |
| Приложения .....   | 32 |

## ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях рассматриваются вопросы конструирования и расчета балочной клетки перекрытия и колонны многоэтажного здания производственного назначения. Приводится методика подбора сечений элементов, конструирования узлов и сопряжения элементов.

Даны указания по содержанию и оформлению расчетной и графической частей РГР.

Выполняется РГР на основе задания (прил. 1).

В библиографическом списке представлена нормативная и учебная литература.

### 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Принимаются согласно шифру (см. прил. 1).

Шаг второстепенных балок  $a$  принимается кратным длине главной балки в пределах  $2,0 \dots 5,0$  м.

$$a = l_1 / n,$$

где  $n$  – число второстепенных балок вдоль этого же размера согласно схеме.

Индивидуальные исходные данные:

- $l_1, l_2$  – размеры ячейки балочной клетки по внутренним граням стен;
- $q_{пост}^n, q_{вр}^n$  – постоянная и временная нормативные нагрузки на междуэтажное перекрытие;
- $q_{чп}, q_{кр}^n$  – нагрузки на чердачное перекрытие и от веса покрытия и кровли;
- $n_э$  – число этажей;
- $h_э$  – высота этажа от пола до низа главной балки;
- район проектирования;
- $h_к$  – конструктивная высота междуэтажного перекрытия, задается преподавателем.

Суммарная толщина пола и настила для всех вариантов – 0,3 м.

Материал всех несущих конструкций – сталь марки С235.

## 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ БАЛОЧНОЙ КЛЕТКИ ПЕРЕКРЫТИЯ

### 2.1. Второстепенная балка перекрытия

#### 2.1.1. Конструктивная и расчетная схемы

Конструктивная и расчетная схемы второстепенной балки представлены на рис. 1.

Расчетный пролет второстепенной балки

$$l_{0вб} = l_2 + \frac{25}{2} - \frac{e_{нб}}{4},$$

где  $e_{нб} \approx \frac{1}{40} l_{гб}$ .

#### 2.1.2. Подбор поперечного сечения из условия прочности

Второстепенная балка выполняется в виде прокатного двутавра.

Расчетная погонная нагрузка на балку

$$q_{вб} = (q_{пост}^н \gamma_f + q_{вр}^н \gamma_f) a,$$

где  $\gamma_f$  – коэффициенты надежности по нагрузке для постоянной и временной нагрузок, принимаемые по [2, табл.1; п. 3.7];  $a$  – шаг второстепенных балок, м.

Максимальный расчетный изгибающий момент в середине пролета равен

$$M_{\max} = \frac{q_{вб} l_{0вб}^2}{8} \psi,$$

где  $\psi = 1,05$  – коэффициент, учитывающий собственный вес балки.

Сечение балки подбирается из условия прочности по нормальным напряжениям

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_{xc}} \leq R_y \gamma_c.$$

### Конструктивная схема

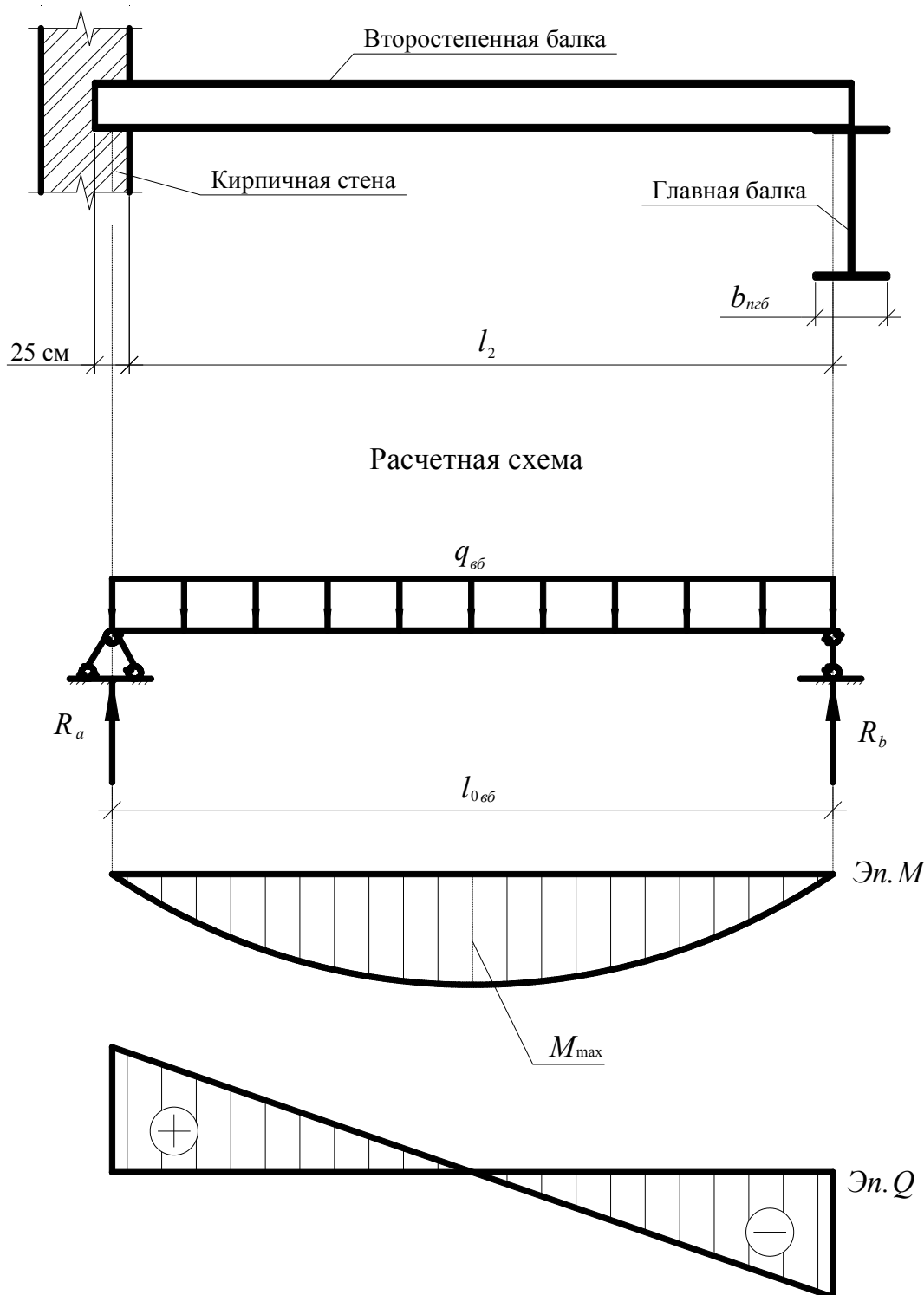


Рис. 1. Конструктивная и расчетная схемы второстепенной балки

Требуемый момент сопротивления поперечного сечения балки относительно оси  $x$

$$W_{x\text{тр}} \geq \frac{M_{\max}}{cR_y\gamma_c},$$

где  $c$  – коэффициент, учитывающий возможность появления пластического шарнира, принимаемый по [1, табл. 66];  $R_y$  – расчетное сопротивление стали по пределу текучести для прокатной балки, принимаемое по [1, табл. 50 и 51];  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы [1, табл. 6\*].

Двутавровое сечение принимается по прил. 2 с соблюдением требования из условия прочности

$$W_x \geq W_{x\text{тр}}.$$

Необходимо выписать все характеристики и начертить принятое сечение двутавра.

### 2.1.3. Проверка условия жесткости балки

Относительный прогиб второстепенной балки не должен превышать допустимой величины

$$\frac{f}{l_{0\text{вб}}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{\text{вб}}^H l_{0\text{вб}}^4}{EI_x} \leq \left[ \frac{f}{l_{0\text{вб}}} \right],$$

где  $E$  – модуль упругости стали;  $I_x$  – момент инерции принятого сечения относительно оси  $x$ ;  $\left[ \frac{f}{l_{0\text{вб}}} \right]$  – предельно допустимый относительный прогиб для второстепенной балки, определяемый по [1, табл. 40\*];  $q_{\text{вб}}^H$  – нормативная погонная нагрузка с учетом собственного веса двутавра  $q_{\text{св}}^H$ .

$$q_{\text{вб}}^H = (q_{\text{ност}}^H + q_{\text{вп}}^H)a + q_{\text{св}}^H.$$

При невыполнении условия жесткости балку необходимо подобрать из условия

$$I_{x\text{тр}} \geq \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{\text{вб}}^H \cdot l_{0\text{вб}}^4}{E} \left[ \frac{l_{0\text{вб}}}{f} \right].$$

## 2.2. Главная балка перекрытия

### 2.2.1. Конструктивная и расчетная схемы

Конструктивная и расчетная схемы главной балки представлены на рис. 2.

Сосредоточенная сила  $F$  складывается из постоянной и временной нагрузок, от собственного веса второстепенной балки и собственного веса главной балки, ориентировочно равного 1 кН/м.

$$F = A_{zp} \cdot (q_{пост}^H \cdot \gamma_f + q_{вр}^H \cdot \gamma_f) + l_{вб} q_{вб}^H \cdot \gamma_f + a \cdot 1 \cdot \gamma_f,$$

где  $A_{zp}$  – грузовая площадь,  $A_{zp} = l_2 \cdot a$ .

### 2.2.2. Подбор поперечного сечения

Поперечное сечение главной балки принимается составное сварное двутавровое, симметричное относительно двух осей (рис.3).

#### Определение высоты балки

1. Определение минимальной высоты балки из условия жесткости:

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \cdot \frac{R_y l_{0гб}}{E \gamma_{fcp}} \left[ \frac{l_{0гб}}{f} \right],$$

где  $R_y$  – расчетное сопротивление стали по пределу текучести для составной сварной балки [1, табл. 50, 51];  $E$  – модуль упругости стали;  $\gamma_{fcp}$  – среднее значение коэффициента надежности по материалу,  $\gamma_{fcp} \approx 1,15$ ;  $\left[ \frac{l_{0гб}}{f} \right]$  – обратная величина предельно допустимого относительного прогиба для главной балки [1, табл. 40\*].

2. Определение оптимальной высоты балки из условия прочности:

$$h_{opt} = 1,15 \sqrt{\frac{W_{тр гб}}{t_{cm}}},$$

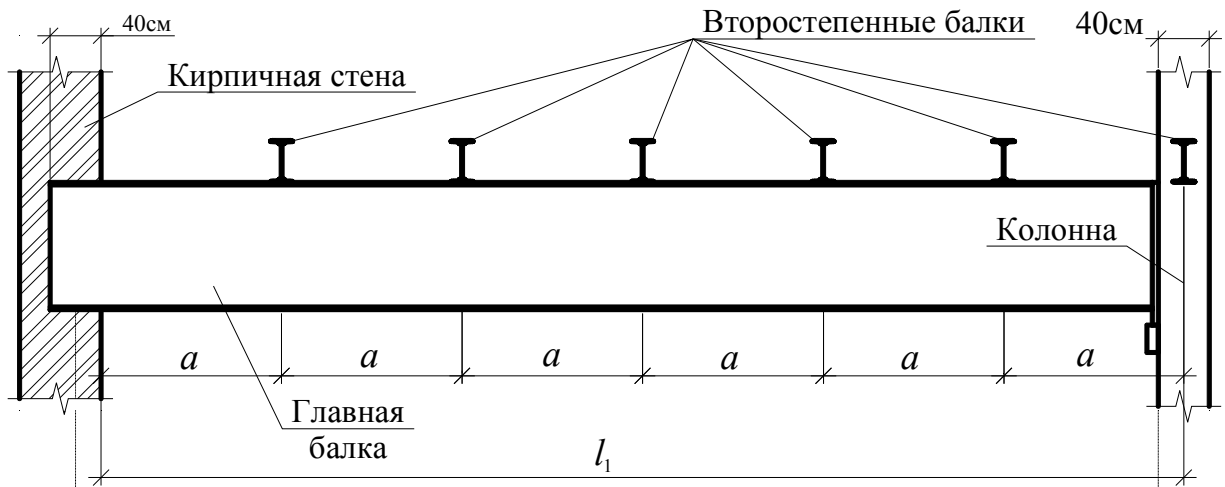
где 1,15 – конструктивный коэффициент для сварной балки;

$W_{тр гб} = \frac{M_{\max}}{c R_y \gamma_c}$  – требуемый момент сопротивления;  $c$  – коэффициент

для расчета на прочность стальных конструкций с учетом развития пластических деформаций [1, табл.66],  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы [1, табл.6\*].



### Конструктивная схема



### Расчетная схема

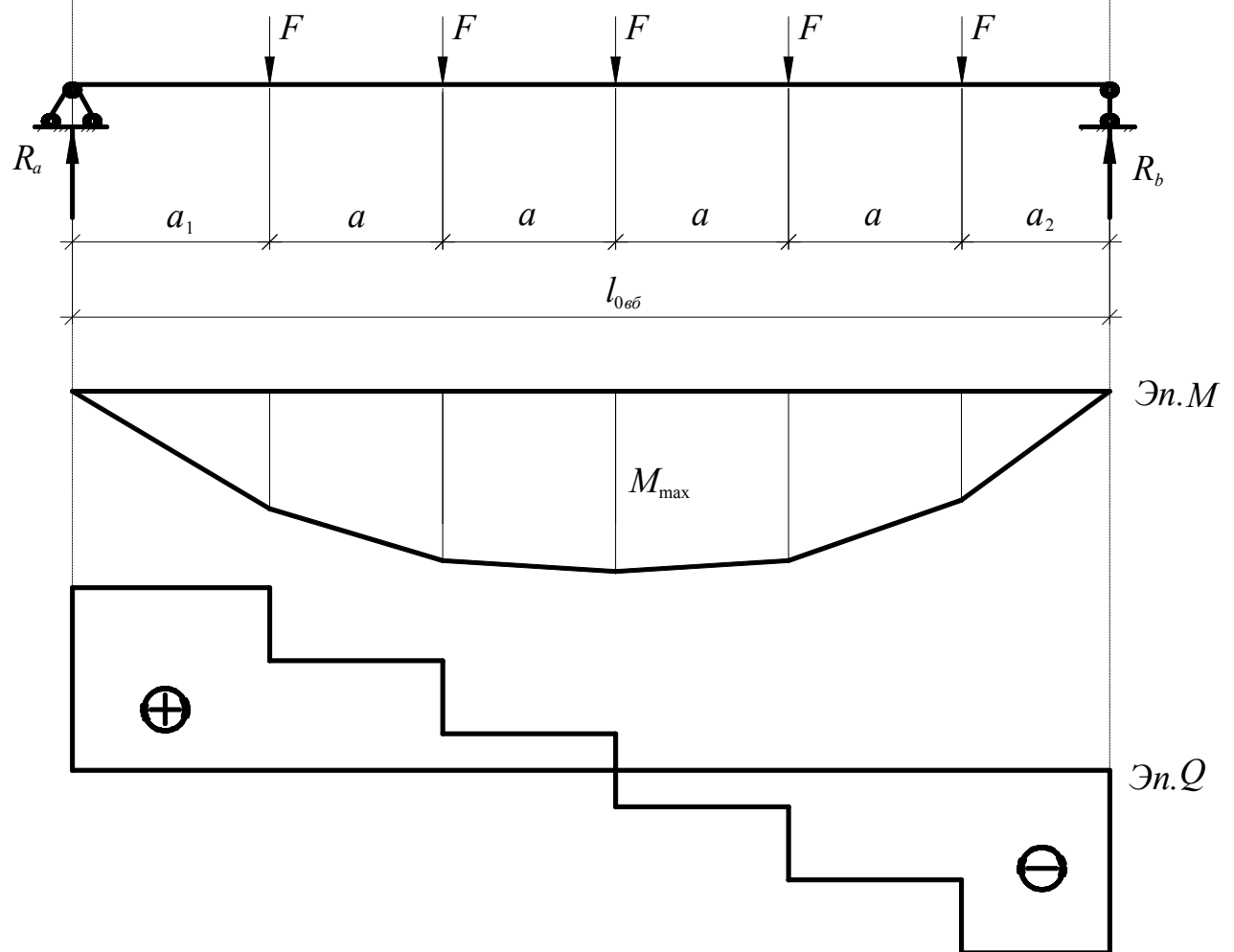


Рис. 2. Конструктивная и расчетная схемы главной балки

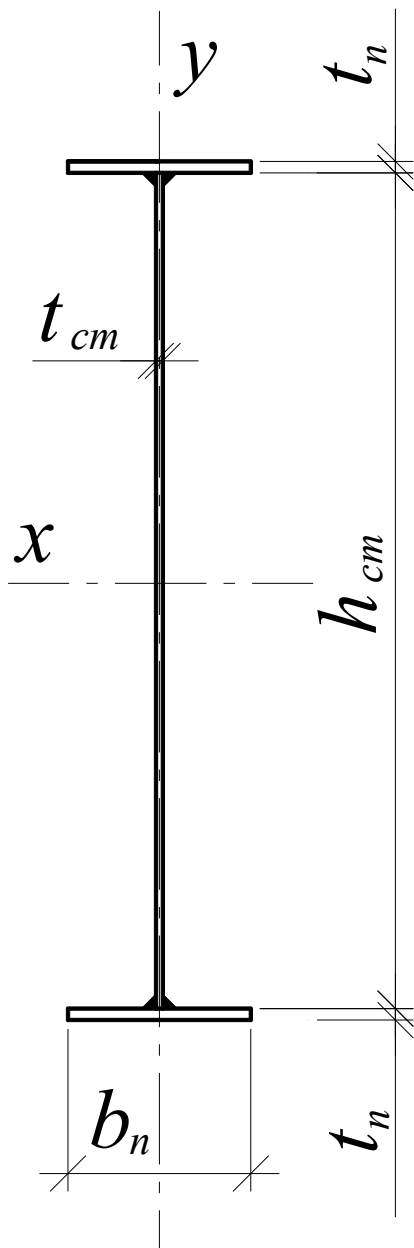


Рис. 3. Поперечное сечение главной балки

*Толщина стенки:*

1. По эмпирической формуле  $t_{cm} = 7 + 3h_{\min}$  – толщина стенки в мм при  $h_{\min}$  в м.

2. Из конструктивных требований  $t_{cm} = 8 \dots 16$  мм.

Размеры высоты и толщины стенки назначаются в соответствии с ГОСТом на листовую сталь (прил. 3) с соблюдением требования

$$h_{\min} \geq h_{cm} \geq h_{\text{онт}}.$$

*Определение размеров полки балки*

Размеры полок должны удовлетворять конструктивным требованиям:

1.  $b_n \geq 180$  мм;
2.  $b_n = \left( \frac{1}{3} \dots \frac{1}{5} \right) h_{cm}$ ;
3.  $\frac{b_n}{t_n} \leq 30$ ;
4.  $t_{cm} \leq t_n \leq 3t_{cm}$ ;
5.  $t_n^{\max} = 40$  мм.

Размеры ширины и толщины полок назначаются в соответствии с ГОСТом на листовую сталь.

### **2.2.3. Проверка прочности сечения по нормальным напряжениям**

Для принятого сечения балки определяется момент инерции и момент сопротивления относительно оси  $x$ :

$$I_x = \frac{t_{cm} h_{cm}^3}{12} + b_n t_n \left( \frac{h_{cm} + t_n}{2} \right)^2 \cdot 2;$$

$$W_x = \frac{I_x}{y_{cm}},$$

где  $y_{cm} = \frac{h_{cm} + 2t_n}{2}$ .

Проверка прочности сечения балки по нормальным напряжениям

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq R_y \gamma_c,$$

где  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы [1, табл. 6\*].

Сечение подобрано удовлетворительно, если резерв надежности не превышает 5 %. В противном случае необходимо изменить размеры сечения и повторить проверку.

#### **2.2.4. Конструирование балки переменного сечения. Построение эпюры материалов**

В целях экономии стали выполняется изменение сечения балки по длине путем уменьшения ширины полок на приопорных участках (рис.4), где изгибающие моменты невелики.

Ширина полок уменьшенного сечения принимается  $b_n^y \approx 0,6 b_n$  в соответствии с ГОСТом на листовую сталь и не менее 18 см.

Строится эпюра материалов (рис.5), которая показывает несущую способность балки, т.е. величину изгибающих моментов, которые может выдержать балка:

- несущая способность полного сечения  $M_{\max}^n = W_x R_y \gamma_c$ ;
- несущая способность уменьшенного сечения  $M_{\max}^y = W_x^y R_y \gamma_c$ .

Значения  $M_{\max}^n$  и  $M_{\max}^y$  наносятся на эпюру  $M$ .

С целью уменьшения концентрации напряжений переход от широкой полки к узкой выполняется с уклоном 1 : 5,  $\Delta \geq \frac{5 \cdot (b_n - b_n^y)}{2}$ .

Сварные швы стыка полок балки в месте изменения сечения не должны попадать под место опирания второстепенной балки.

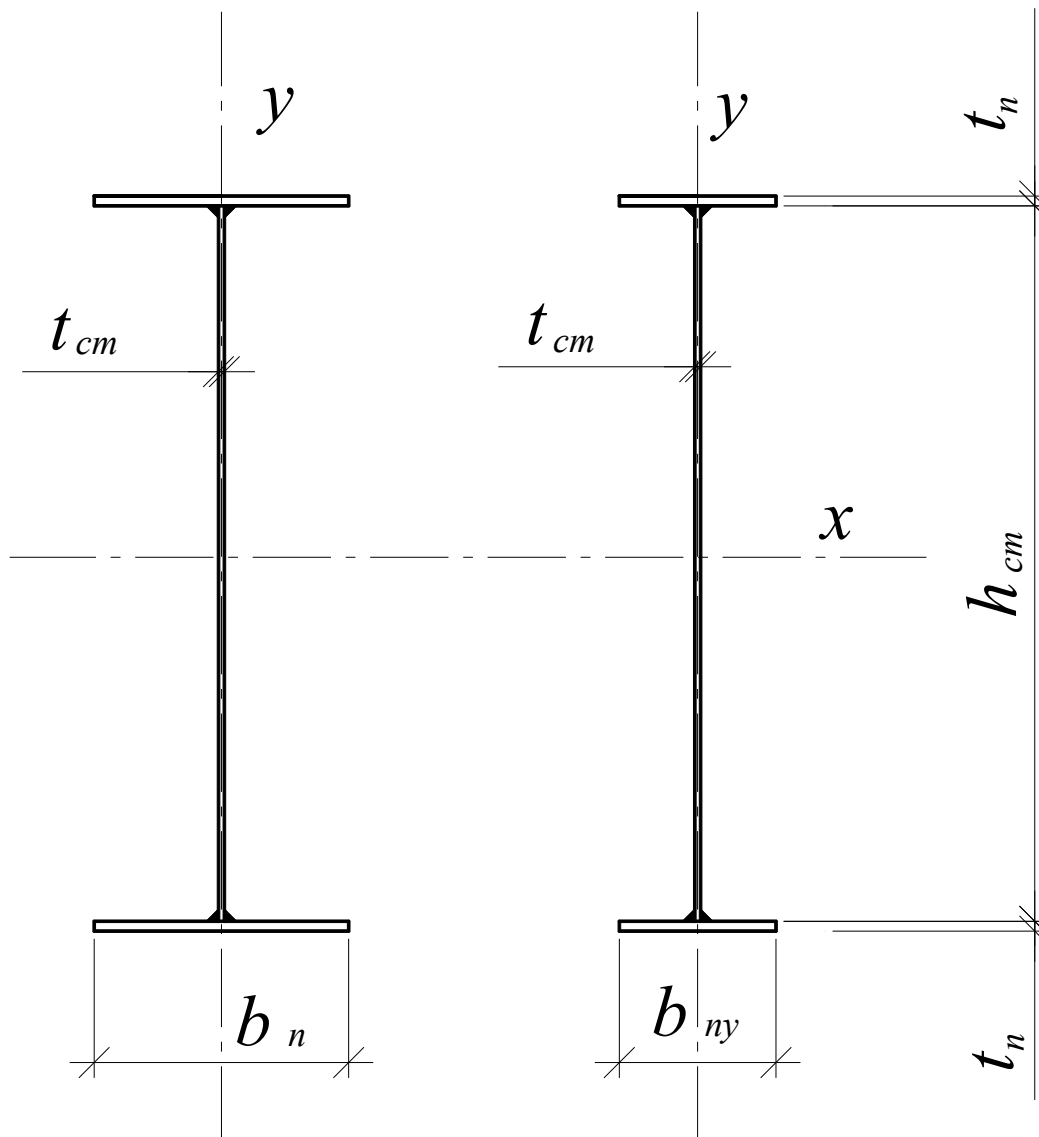


Рис. 4. Поперечное сечение балки до (слева) и после (справа) изменения

### 2.2.5. Проверка прочности уменьшенного сечения балки по касательным напряжениям

Определение геометрических характеристик уменьшенного сечения относительно оси  $x$  (рис.6):

1. Момент инерции

$$I_x^y = \frac{t_{cm} h_{cm}^3}{12} + b_n^y t_n \frac{(h_{cm} + t_n)^2}{2}.$$

2. Статический момент полусечения

$$S_{xnc}^y = \frac{t_{cm} \cdot h_{cm}^2}{8} + b_n^y t_n \frac{h_{cm} + t_n}{2}.$$

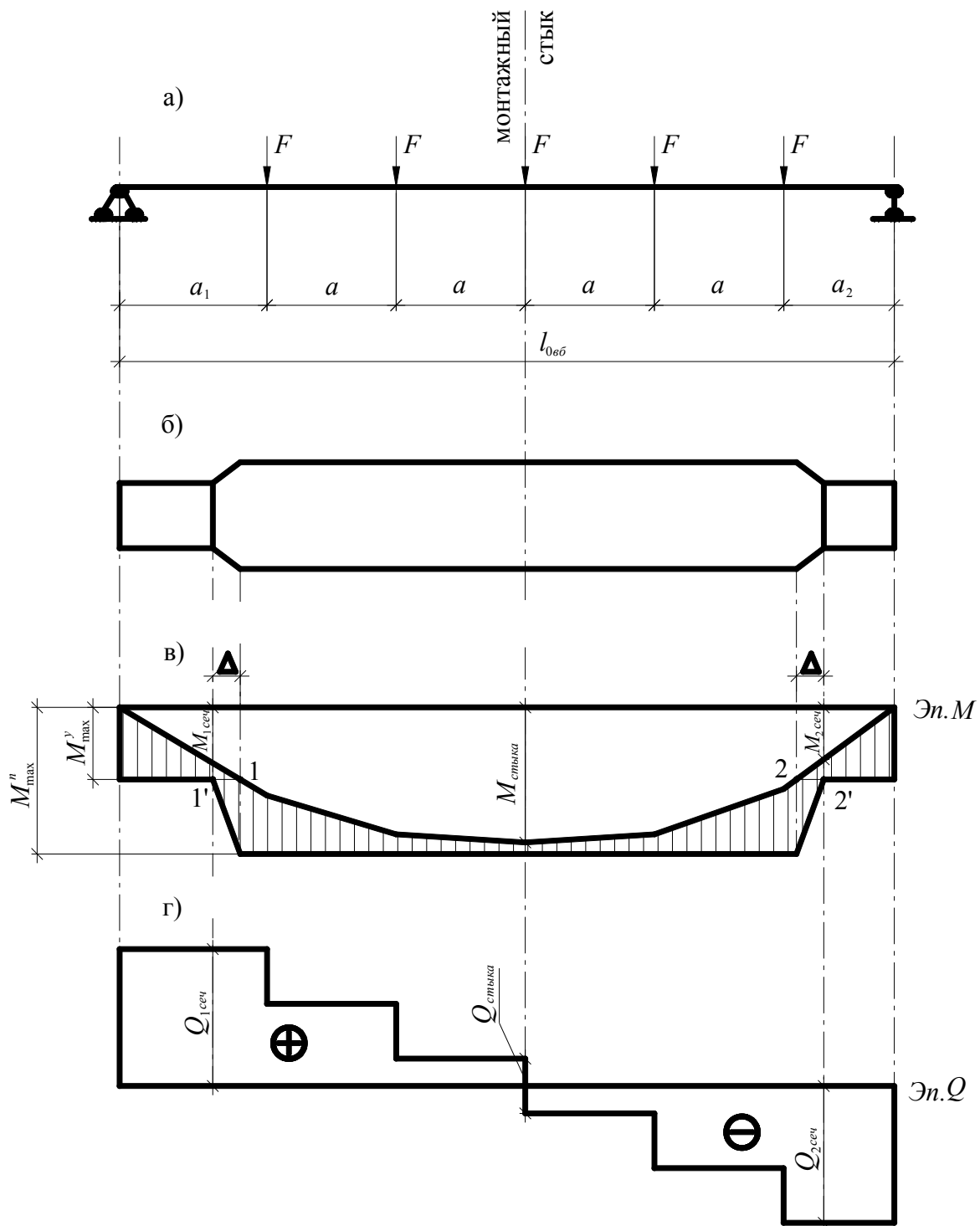


Рис. 5. Построение эпюры материалов:  
 а) схема нагрузок; б) план балки;  
 в) эпюры моментов и материалов;  
 г) эпюра поперечных сил

### 3. Статический момент полки

$$S_{x пол}^y = b_n^y t_n \frac{h_{cm} + t_n}{2}.$$

#### *Проверка прочности по касательным напряжениям*

Проверка прочности по касательным напряжениям выполняется в опорном сечении балки с  $Q_{max}$ .

$$\tau_{max} = \frac{Q_{max} S_{x nc}^y}{I_x^y t_{cm}} \leq R_s \gamma_c,$$

где  $R_s$  – расчетное сопротивление стали сдвигу [1, табл. 1\*];  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы [1, табл. 6\*].

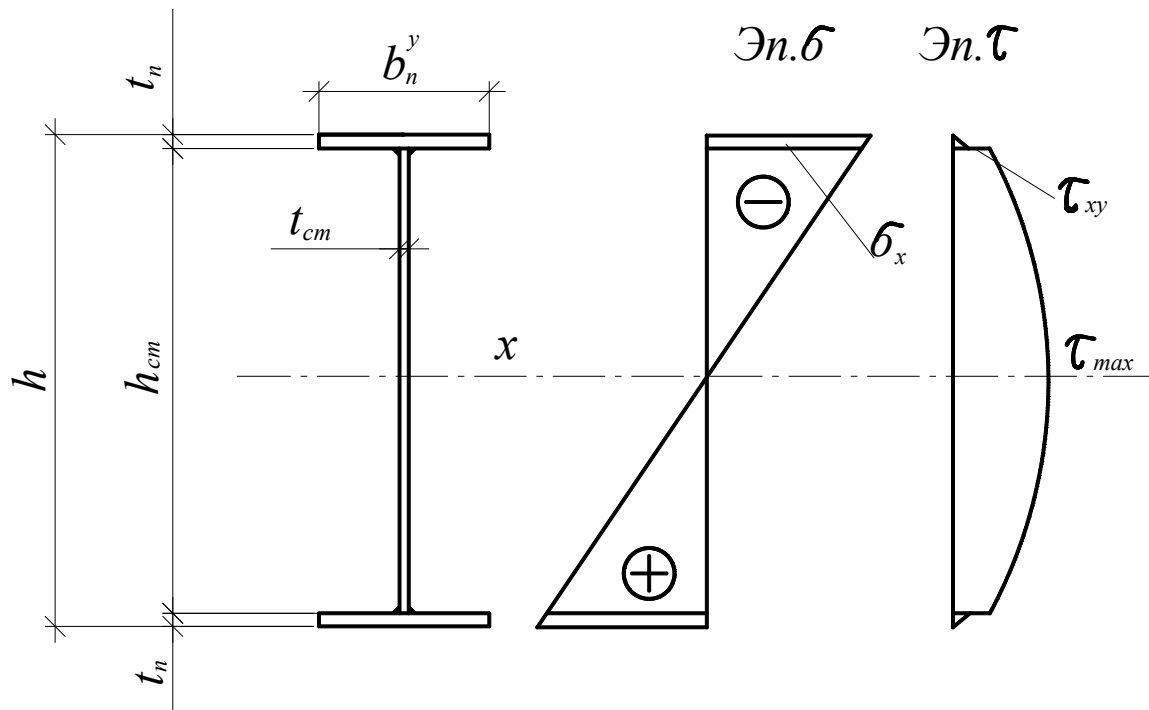


Рис. 6. К проверке прочности по касательным и приведенным напряжениям

#### **2.2.6. Проверка прочности по приведенным напряжениям**

Проверка по приведенным напряжениям выполняется в уменьшенном сечении с наибольшим значением изгибающего момента ( $M_{1сеч}$  или  $M_{2сеч}$ ).

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq 1,15R_y \gamma_c,$$

где  $\sigma_x = \frac{M_{сеч} h_{см}}{2J_x^y}$  и  $\tau_{xy} = \frac{Q_{сеч} S_{xпол}^y}{J_x^y t_{см}}$  – нормальное и касательное напряжения в стенке балки на уровне поясных швов.

### 2.2.7. Проверка прочности сварных швов

Проверка прочности сварных швов, приваривающих полки к стенке:

$$\tau_{сш} = \frac{Q_{max} S_{xпол}^y \cdot 1}{I_x^y 2\beta_f k_f} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c,$$

где  $R_{wf}$  – расчетное сопротивление угловых швов срезу по металлу шва [1, табл.3, 56];  $\gamma_{wf}$  – коэффициент условий работы сварного шва [1, п. 11.2];  $\beta_f$  – коэффициент, зависящий от вида сварки [1, табл.3,4\*];  $k_f$  – катет сварного шва, принимаемый по условию

$$k_{f\min} \leq k_f \leq 1,2 t_{\min},$$

где  $k_{f\min}$  – минимальный катет шва [1, табл.38\*];  $t_{\min}$  – минимальная толщина одного из двух свариваемых элементов.

### 2.2.8. Проверки устойчивости балки

Проверка общей устойчивости балки производится после определения сопряжения главной и второстепенных балок согласно заданной конструктивной высоте междуэтажного перекрытия.

Проверка производится согласно [1, табл. 8\*], если устойчивость не обеспечивается, то согласно [1, п. 5.16].

Для обеспечения местной устойчивости стенки балки в местах опирания второстепенных балок устанавливаются парные поперечные ребра жесткости на всю высоту стенки балки (рис.7).

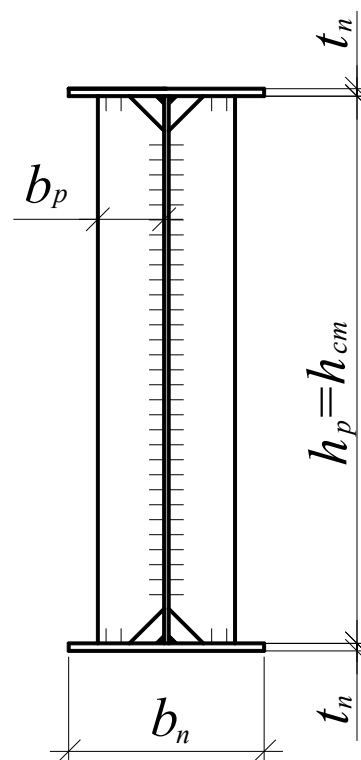


Рис. 7. К расчету местной устойчивости

### Размеры ребра

Ширина ребра из условия устойчивости самого ребра  $v_p$ , мм,

$$v_p \geq \frac{h_{cm}}{30} + 40 \text{ мм.}$$

Толщина ребра  $t_p$ , мм,

$$4 \text{ мм} \leq t_p \frac{v_p}{15}.$$

Окончательные размеры ребра принимаются в соответствии с ГОСТом на листовую сталь.

### 2.2.9. Расчет опорного ребра главной балки

Ширина опорного ребра (рис.8)  $v_{op} \leq v_n^y$ .

Высота опорного ребра  $h_{op} = h_{cm} + t_n + 2,0$  см.

Нижний торец опорного ребра фрезеруется.

Толщина опорного ребра определяется из условия прочности на смятие торца ребра и принимается по ГОСТу на листовую сталь:

$$\sigma_{cm} = \frac{Q_{max}}{b_{op} \cdot t_{op}} \leq R_p \cdot \gamma_c,$$
$$t_{op} \geq \frac{Q_{max}}{b_{op} R_{cm} \gamma_c},$$

где  $R_p$  – расчетное сопротивление стали смятию торцевой поверхности (при наличии пригонки) [1, табл. 1\*].

Принятое сечение опорного ребра балки проверяется на устойчивость относительно оси  $x$  как условного опорного стержня, включающего часть стенки балки длиной  $c = 0,65 t_{cm} \sqrt{E/R_y}$  [1, п. 7.12].

$$\sigma = \frac{Q_{max}}{\varphi_x A_{yoc}} \leq R_y \gamma_c,$$
$$A_{yoc} = A_{yop} + c \cdot t_{cm},$$

где  $A_{yoc}$  – площадь сечения условного опорного стержня;  $\varphi_x$  – коэффициент продольного изгиба, принимается по [1, табл. 72] в зависимости от гибкости:

$$\lambda_x = \frac{h_{cm}}{i_x},$$



где  $i_x = \sqrt{\frac{I_{yoc_x}}{A_{yoc}}}$  – радиус инерции условного опорного стержня;

$I_{yoc_x}$  – момент инерции условного опорного стержня относительно оси  $x$ .

$$I_{yoc_x} = \frac{ct_{cm}^3}{12} + \frac{t_{op}b_{op}^3}{12}.$$

Если условие устойчивости не выполняется, необходимо увеличить размеры опорного ребра. Ребро опирания главной балки на кирпичную стену выполняется на всю высоту стенки балки.

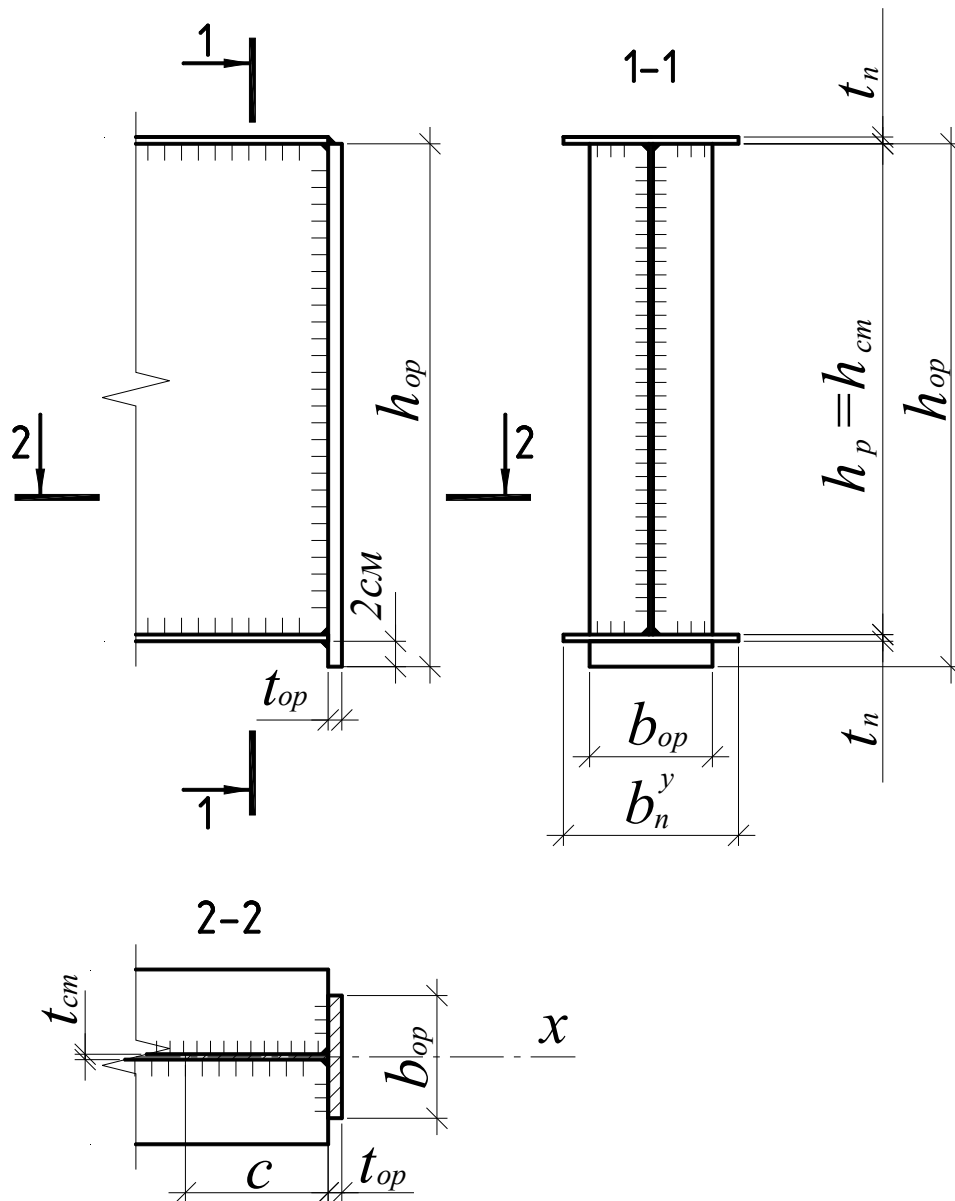


Рис. 8. К расчету опорного ребра

## 2.2.10. Расчет и конструирование монтажного стыка

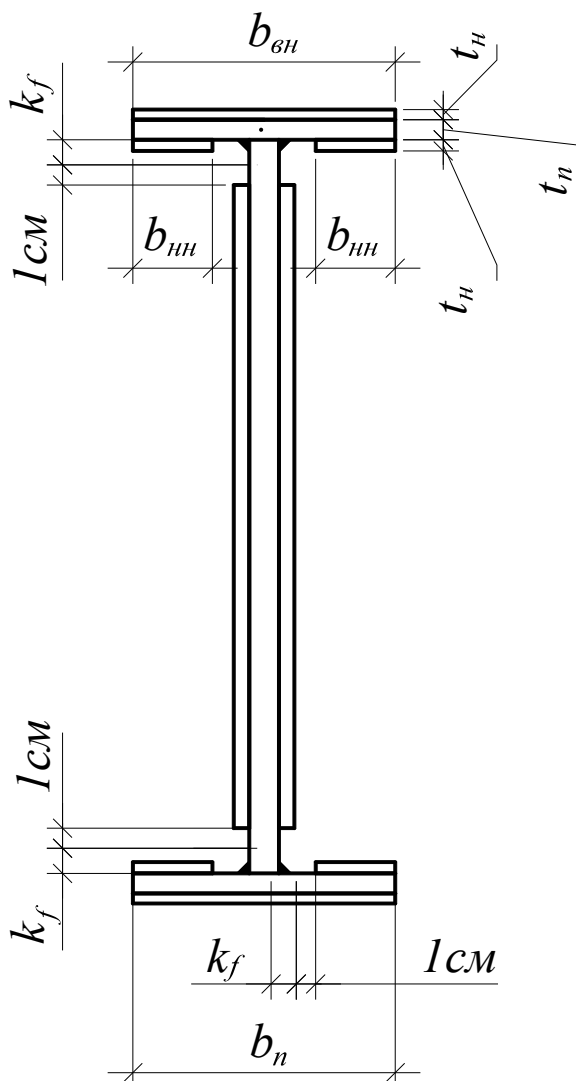


Рис. 9. К расчету монтажного стыка

Монтажный стык выполняется с накладками на высокопрочных болтах диаметром 20 мм.

Суммарная площадь поперечного сечения накладок должна быть не менее площади поперечного сечения перекрываемых элементов. Располагается стык в средней трети балки на равном расстоянии от смежных ребер (в зависимости от расчетной схемы балки, см.рис.5).

Расчеты стыков полок и стенки выполняются отдельно.

Изгибающий момент, действующий в сечении, распределяется между полками и стенкой пропорционально моментам инерции. Поперечная сила полностью передается через стенку.

$$M_{\text{полка}} = \frac{M_{\text{стыка}} \cdot I_{x \text{ полка}}}{I_{x \text{ балки}}};$$

$$M_{\text{стенки}} = \frac{M_{\text{стыка}} \cdot I_{x \text{ стенки}}}{I_{x \text{ балки}}} \text{ или}$$

$$M_{\text{стенки}} = M_{\text{стыка}} - M_{\text{полка}}.$$

Несущая способность одного высокопрочного болта  $Q_{bh}$  определяется [1, ф. 131\*, п.11.13\*].

### Расчет стыка полок

Полка балки перекрывается тремя накладками: одна верхняя и две нижние, ширина которых определяется по рис.9.

Ширина верхней накладки

$$b_{\text{вн}} = b_{\text{н}}.$$

Ширина нижней накладки

$$b_{\text{нн}} = (b_{\text{н}} - t_{\text{см}} - 2k_f - 2 \text{ см}) \cdot 0,5.$$

Продольное усилие, передающееся через полку балки:

$$N_n = \frac{M_{\text{полки}}}{h_{\text{ст}} + t_n}$$

Толщина накладок определяется из условия

$$b_n t_n \leq (b_{\text{вн}} t_n + 2b_{\text{нн}} t_n), \quad t_n = \frac{e_n t_n}{e_{\text{вн}} + 2e_{\text{нн}}}$$

и принимается по ГОСТу на листовую сталь.

Количество высокопрочных болтов определяется для полунакладки и должно быть округлено в большую сторону до четного значения [1, ф. 132\*]: расстояния между центрами болтов и до краев элементов назначать по [1, табл.39].

Размещаются болты в рядовом или шахматном порядке на минимальных расстояниях в соответствии с [1, табл. 39] в зависимости от количества болтов (рис.10).

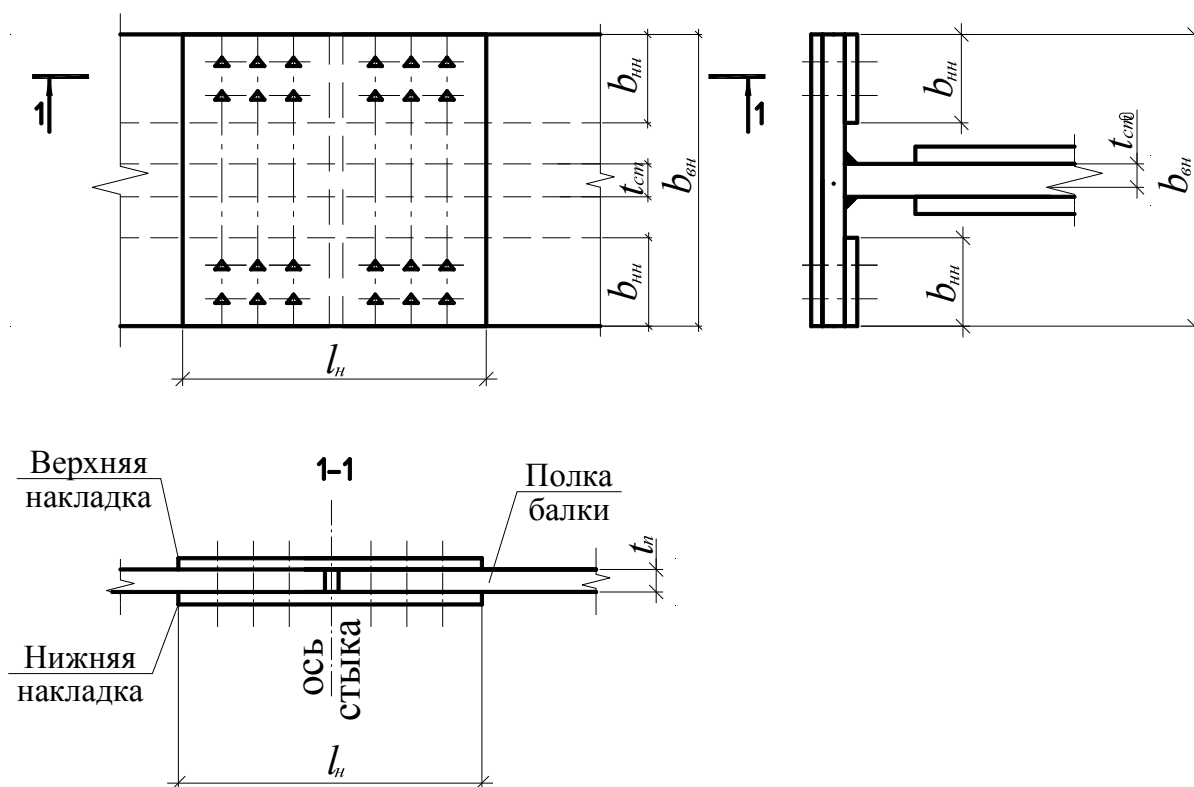


Рис. 10. Размещение болтов в стыке полок

## Расчет стыка стенки

Стенка перекрывается двумя вертикальными накладками (рис.11).

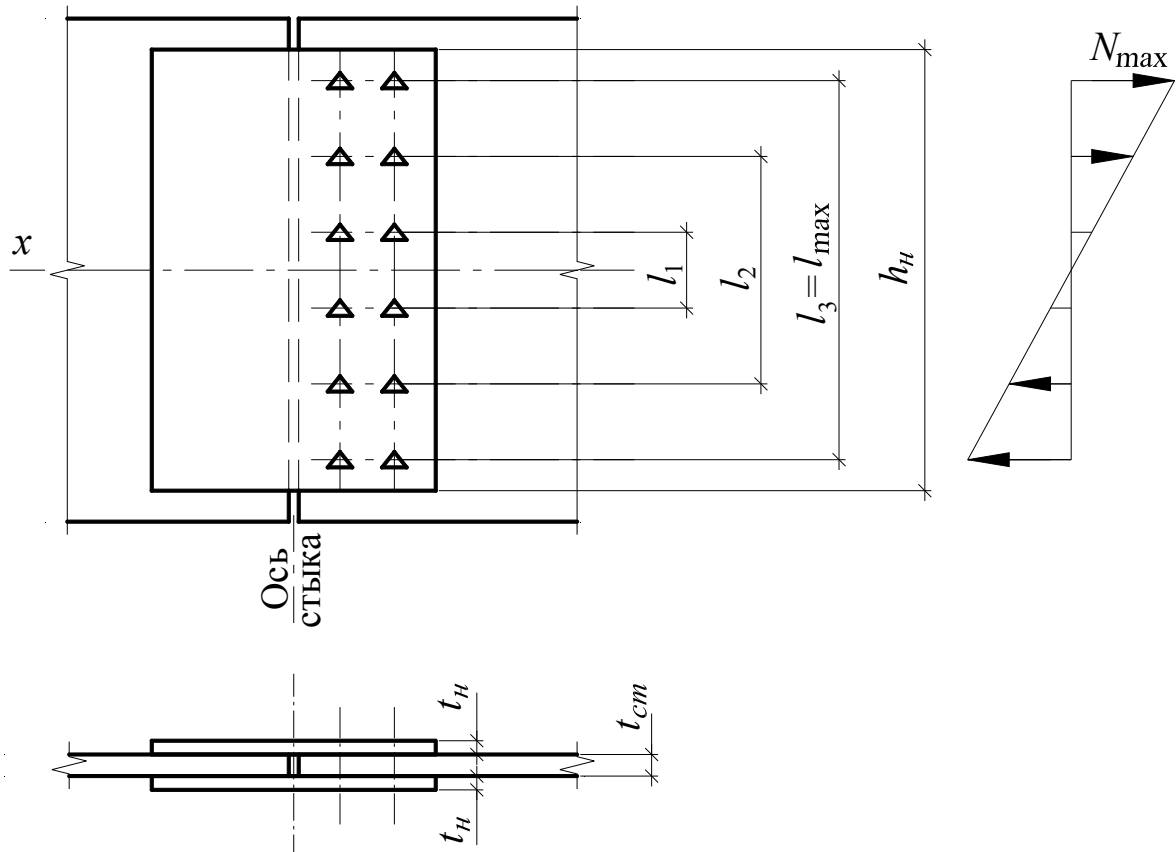


Рис. 11. Размещение болтов в стыке стенки

Высота накладки равна  $h_n = h_{cm} - 2k_f - 2$  см.

Толщина накладок определяется так же, как толщина накладок полки, т.е. из условия равенства площадей, перекрываемых и перекрывающих элементов.

Поперечная сила распределяется равномерно на все болты полунакладки:

$$V = \frac{Q_{стыка}}{n},$$

где  $n$  – число болтов на полунакладке, определяемое после конструирования;  $Q_{стыка}$  – поперечная сила в месте стыка (см.рис.5).

Для определения усилий от момента болты расставляются по высоте стенки на принятое количество горизонтальных рядов симметрично относительно нейтральной оси.

Усилие в наиболее загруженном болте

$$N_{\max} = N_1 = \frac{M_{\text{стенки}} l_{\max}}{m \sum l_i^2},$$

где  $m$  – количество вертикальных рядов болтов в полунакладке;  $l_{\max}$  – максимальное расстояние между крайними симметрично расположенными болтами;  $l_i$  – расстояние между парами болтов, расположенных симметрично относительно оси  $x$ ;  $\sum l_i^2$  – сумма квадратов шагов болтов.

Условие прочности для наиболее загруженного болта от изгибающего момента и поперечной силы:

$$S = \sqrt{N_{\max}^2 + V^2} \leq Q_{6h},$$

где  $S$  – равнодействующая усилий в болте от момента и поперечной силы;  $Q_{6h}$  – расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом, определяется по [1, ф. 131\*].

Если условие прочности не выполняется, необходимо изменить количество рядов по вертикали или уменьшить шаг болтов и повторить расчет.

Шаги болтов по ширине накладки принимаются минимальными в соответствии с [1, табл. 39].

## 2.3. Центрально-сжатая колонна

### 2.3.1. Конструктивная и расчетная схемы

На рис. 12 представлены конструктивная и расчетная схемы колонны.

Расчетная длина стержня колонны

$$l_0 = l_k \cdot \mu,$$

где  $\mu$  – коэффициент условий закрепления концов стержня, принимается по [1, табл. 71, а].

Геометрическая длина колонны первого этажа:

$$l_k = h_3 + h_9 + 0,5h_{2\sigma}.$$

$h_3 = 0,7$  м ... 1 м – расстояние от нулевой отметки до обреза фундамента.

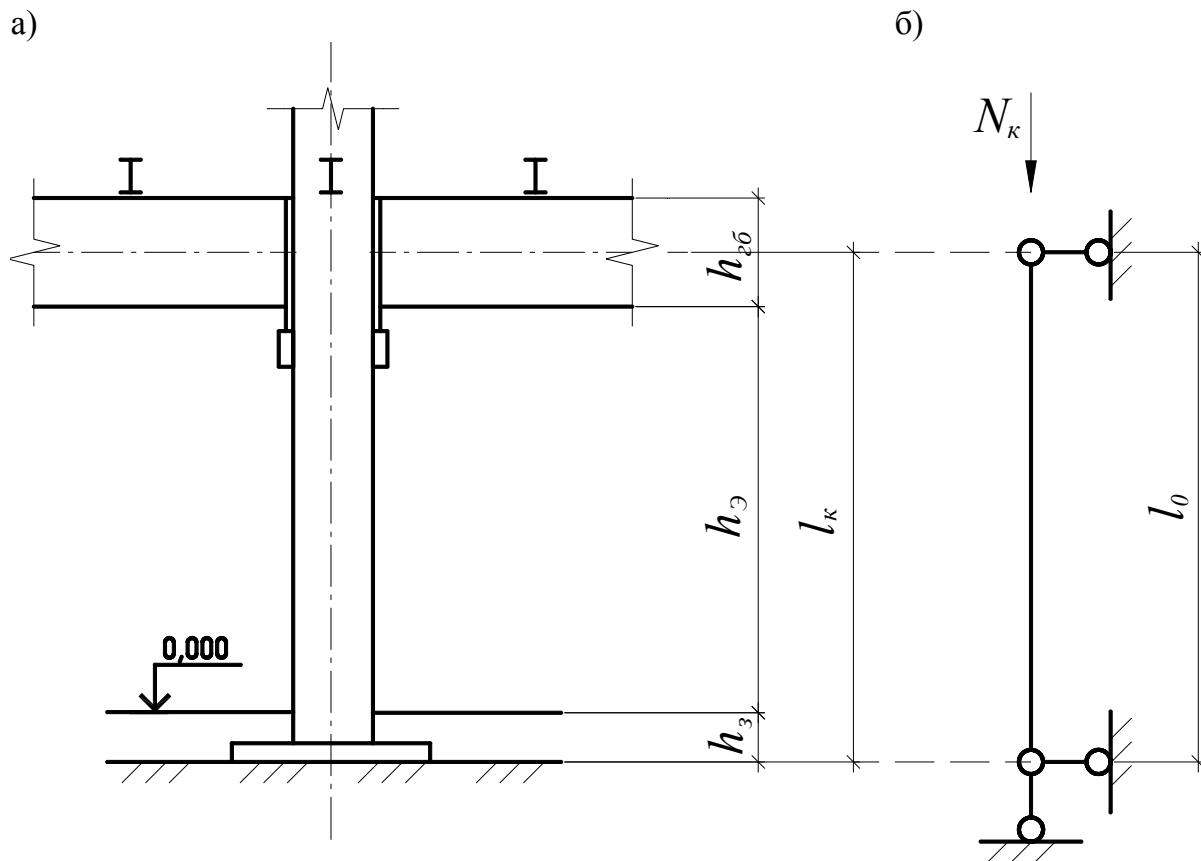


Рис. 12. К расчету колонны:  
 а) конструктивная схема; б) расчетная схема;  
 $N_k$  – расчетная нагрузка на колонну 1-го этажа

### 2.3.2. Определение расчетной нагрузки на колонну

На колонну передаются нагрузки:

- от главных и второстепенных балок перекрытия каждого этажа;
- чердачного перекрытия;
- веса покрытия и конструкции кровли;
- собственного веса колонны;
- снеговой нагрузки.

Расчетная нагрузка на колонну 1-го этажа

$$N_k = 2(R_{зб} + R_{вб})(n_э - 1) + (q_{уп} + q_{кр}^H \gamma_f + q_{сн} l_1 l_2 + n_э l_k \gamma_f F_{св}),$$

где  $R_{зб}$  и  $R_{вб}$  – опорные реакции главной и второстепенной балок;  $F_{св}$  – ориентировочный нормативный вес погонного метра колонны, принимаемый равным 1 кН/м.

### 2.3.3. Определение размеров поперечного сечения колонны

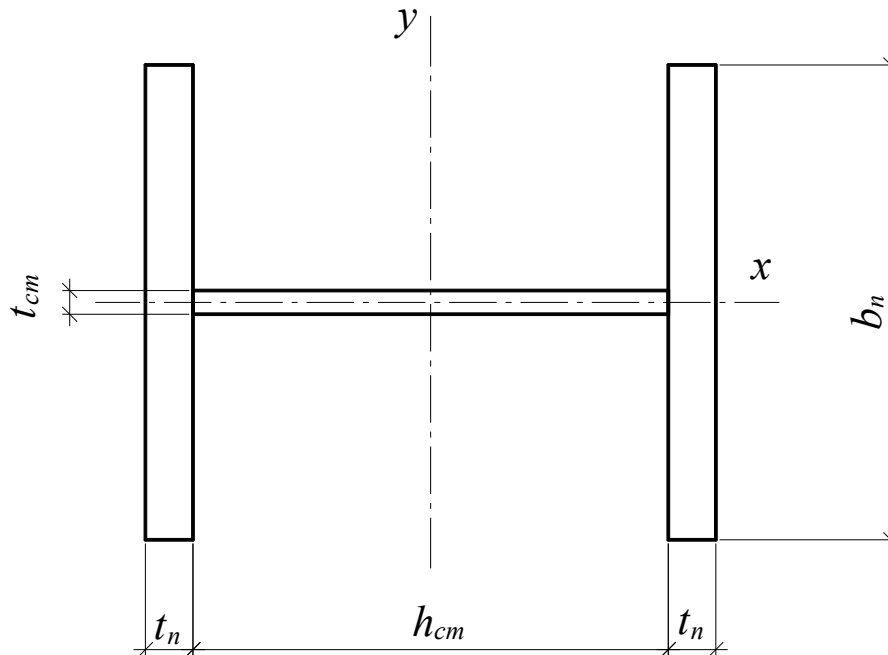


Рис. 13. Поперечное сечение колонны

Площадь поперечного сечения колонны определяется из условия устойчивости (рис.13):

$$\frac{N_{\kappa}}{\varphi_x A} \leq R_y \gamma_c,$$

где  $\varphi_x$  – коэффициент продольного изгиба, для предварительного расчета принимается по гибкости  $\lambda_x = 90$  [1, табл. 72];  $A$  – площадь сечения колонны.

Требуемая площадь сечения колонны из условия устойчивости

$$A_{mp} \geq \frac{N_{\kappa}}{\varphi_x R_y \gamma_c}.$$

Размеры полок и стенки должны отвечать конструктивным требованиям:

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1) $A_n \cong 0,8A_{mp}$ ;    | 5) $t_{cm} \leq t_n \leq 3t_{cm}$ ;                                |
| 2) $A_{cm} \cong 0,2A_{mp}$ ; | 6) $t_n \leq 40$ мм;   |
| 3) $b_n \cong h_{cm}$ ;       | 7) $h_{cm} = \left( \frac{1}{20} \dots \frac{1}{15} \right) l_0$ ; |
| 4) $t_{cm} = 8 \dots 16$ мм;  | 8) $h_{cm}^{\min} = 30$ см.  |

По этим требованиям назначаются размеры сечения в соответствии с ГОСТом на листовую сталь.

### 2.3.4. Проверка общей устойчивости колонны относительно оси $x$

$$\sigma = \frac{N_k}{\varphi_x A} \leq R_y \gamma_c,$$

где  $A$  – площадь сечения,  $A = 2b_n t_n + t_{cm} h_{cm}$ ;  $I_x$  – момент инерции

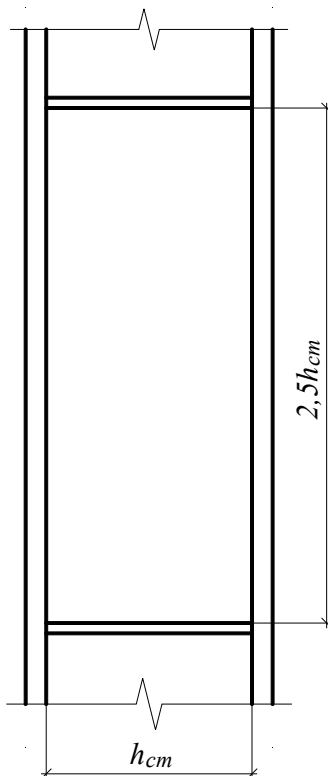
сечения,  $I_x = \frac{t_n b_n^3}{12} \cdot 2 + \frac{h_{cm} t_{cm}^3}{12}$ ;  $i_x$  – радиус инерции сечения,

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}; \lambda_x \text{ – гибкость стержня, } \lambda_x = \frac{\ell_0}{i_x}.$$

По полученному значению гибкости определяется коэффициент продольного изгиба [1, табл. 72] и выполняется проверка устойчивости.

При невыполнении условия устойчивости [5% резерв надежности] необходимо изменить размеры сечения и повторить расчет.

### 2.3.5. Проверка местной устойчивости элементов колонны



Проверка местной устойчивости стенки колонны выполняется по [1, п. 7.23\*].

*Стенка колонны*

при  $\frac{h_{cm}}{t_{cm}} > 30$  по высоте колонны ставятся парные поперечные ребра жесткости на расстоянии  $2,5 h_{cm}$  (рис.14).

Ширина ребер принимается

$$b_p \geq \frac{h_{cm}}{30} + 40 \text{ мм.}$$

Толщина ребер

$$4 \text{ мм} \leq t_p = \frac{b_p}{15}.$$

Рис. 14. К расчету местной устойчивости стенки колонны



### Полка колонны

Для обеспечения местной устойчивости полок должно соблюдаться условие [1, п. 7.23\*, табл. 29\*]

$$\frac{e'_n}{t_n} \leq (0,36 + 0,10\bar{\lambda}_n) \sqrt{\frac{E}{R_y}},$$

где  $\bar{\lambda}_n$  – условная гибкость,  $\bar{\lambda}_n = \frac{e'_n}{t_n} \sqrt{\frac{E}{R_y}}$ ,  $e'_n = \frac{e_n}{2} - \frac{t_{cm}}{2}$ , при невы-

полнении этого условия необходимо изменить размеры полки и повторить расчет колонны.

### 2.3.6. База колонны с траверсами

Конструктивная схема базы колонны представлена на рис.15. Площадь опорной плиты рассчитывается из условия прочности фундамента

$$\frac{N_\kappa}{A_{on}} \leq R_b \gamma_\phi,$$

где  $R_b$  – расчетное сопротивление бетона (прил.4), кН/см<sup>2</sup>;  $\gamma_\phi$  – коэффициент увеличения  $R_b$  в зависимости от соотношения площадей

фундамента и опорной плиты, при  $\frac{A_\phi}{A_{on}} = 2$ .

$$\gamma_\phi = \sqrt[3]{\frac{A_\phi}{A_{on}}} = \sqrt[3]{2}.$$

### Определение размеров опорной плиты

Так как габаритные размеры колонны  $b_n \approx h_{cm}$ , опорная плита (рис.16) принимается квадратной со стороной  $B = \sqrt{A_{on}}$  по ГОСТу на листовую сталь. Толщина опорной плиты рассчитывается после конструирования базы.

Фактическое реактивное давление на плиту:

$$\sigma_\phi = \frac{N_\kappa}{B^2}.$$

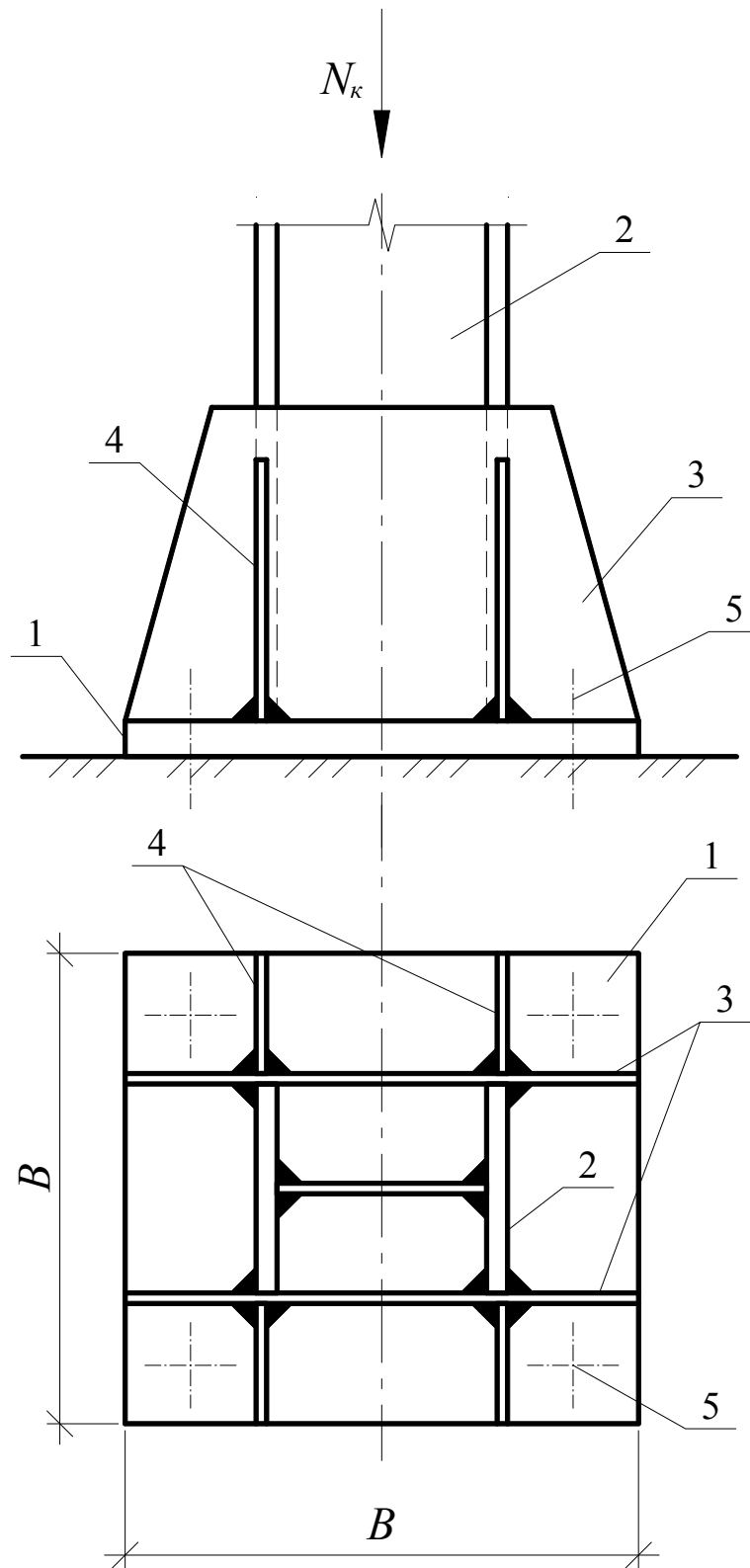


Рис. 15. Конструктивная схема базы колонны:  
 1 – опорная плита; 2 – стержень колонны; 3 – траверсы;  
 4 – ребра жесткости; 5 – оси анкерных болтов

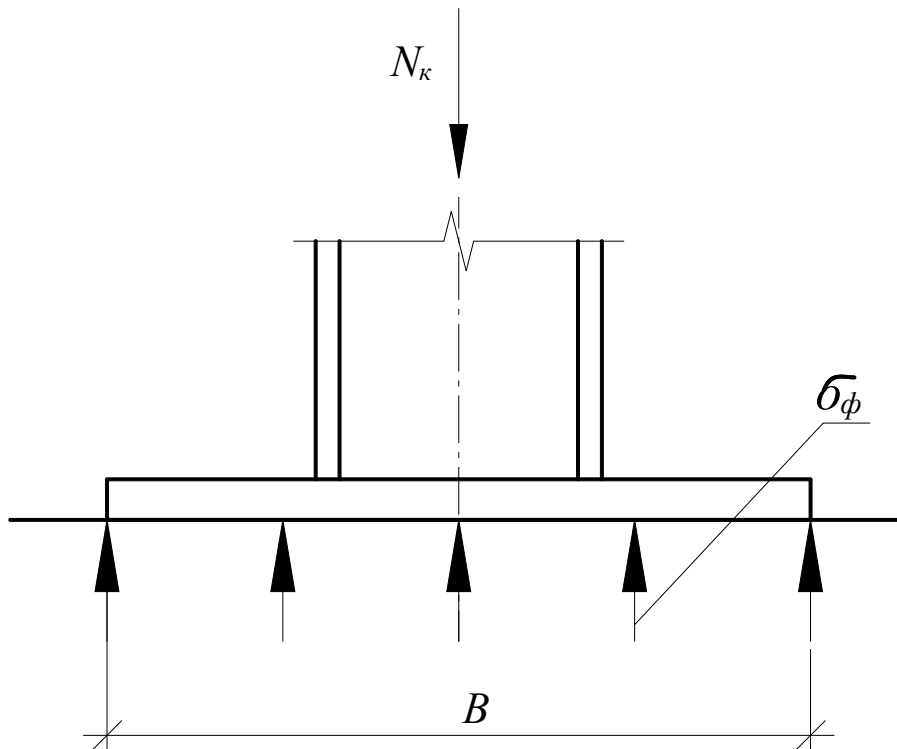


Рис. 16. К расчету опорной плиты

### Определение размеров траверс и ребер базы колонны

Траверсы и ребра жесткости предназначены для равномерного распределения нагрузки от стержня колонны по площади опорной плиты (рис.17).

Задаются величины:

$$t_{mp} = 10...14 \text{ мм};$$

$$t_p = t_{mp} - 2 \text{ мм};$$

$$h_p = 0,8h_{mp}.$$

Высота траверсы определяется из условия прочности сварных швов, приваривающих траверсы к стержню колонны.

$$\frac{N_k}{4\beta_f k_f h_{mp}} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c;$$

$$h_{mp} \geq \frac{N_k}{4\beta_f k_f \gamma_{wf} \gamma_c} + 2t_{mp},$$

где  $k_f$  принимается  $k_f^{\min} < k_f \leq 1,2t_{mp}$ , где  $k_f^{\min}$  принимается по [1, табл. 38\*]. Размеры траверс и ребер принимаются в соответствии с ГОСТом на листовую сталь. При этом  $h_{mp} \leq h_3 - 100 \text{ мм}$ .

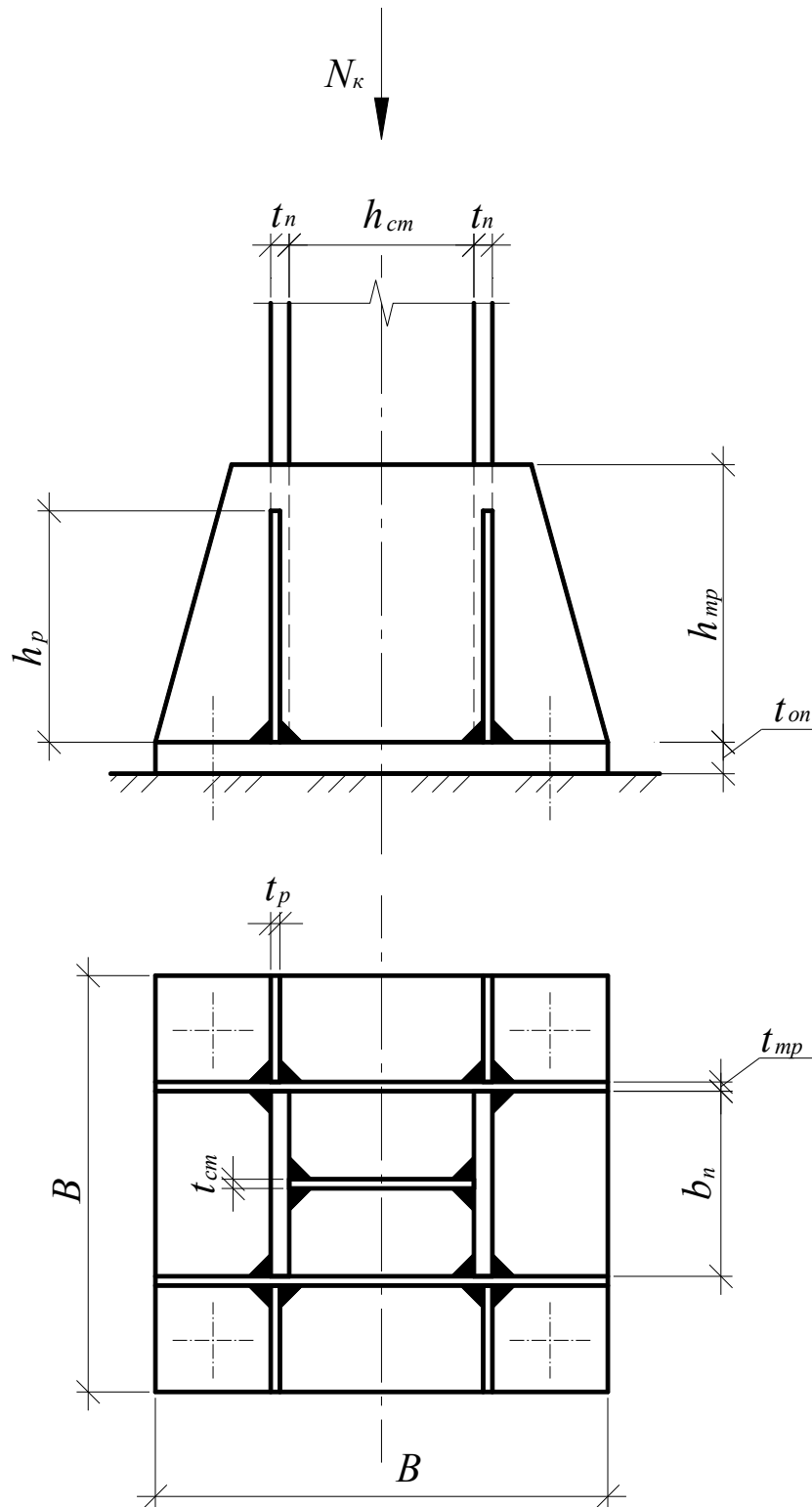


Рис. 17. К расчету траверс и ребер жесткости базы колонны:  
 $h_{cm}$  – высота стенки колонны;  $t_n$  – толщина полки колонны;  $t_{cm}$  – толщина стенки колонны;  $b_n$  – ширина полки колонны;  $h_{mp}$  – высота траверсы;  $t_{mp}$  – толщина траверсы;  $h_p$  – высота ребра жесткости;  $t_p$  – толщина ребра жесткости;  
 $t_{on}$  – толщина опорной плиты

### Определение толщины опорной плиты

Опорная плита (рис.18) представляет собой пластинку на упругом основании (фундамент), закрепленную на разных участках по двум (4), трем (2,3) и четырем (1) сторонам траверсами, ребрами, стенкой и полками колонны.

Эти пластины загружены равномерно распределенным реактивным давлением со стороны фундамента  $\sigma_\phi$  на полосе шириной 1 см.

$$q_\phi = \sigma_\phi \cdot 1 \text{ см, кН/см.}$$

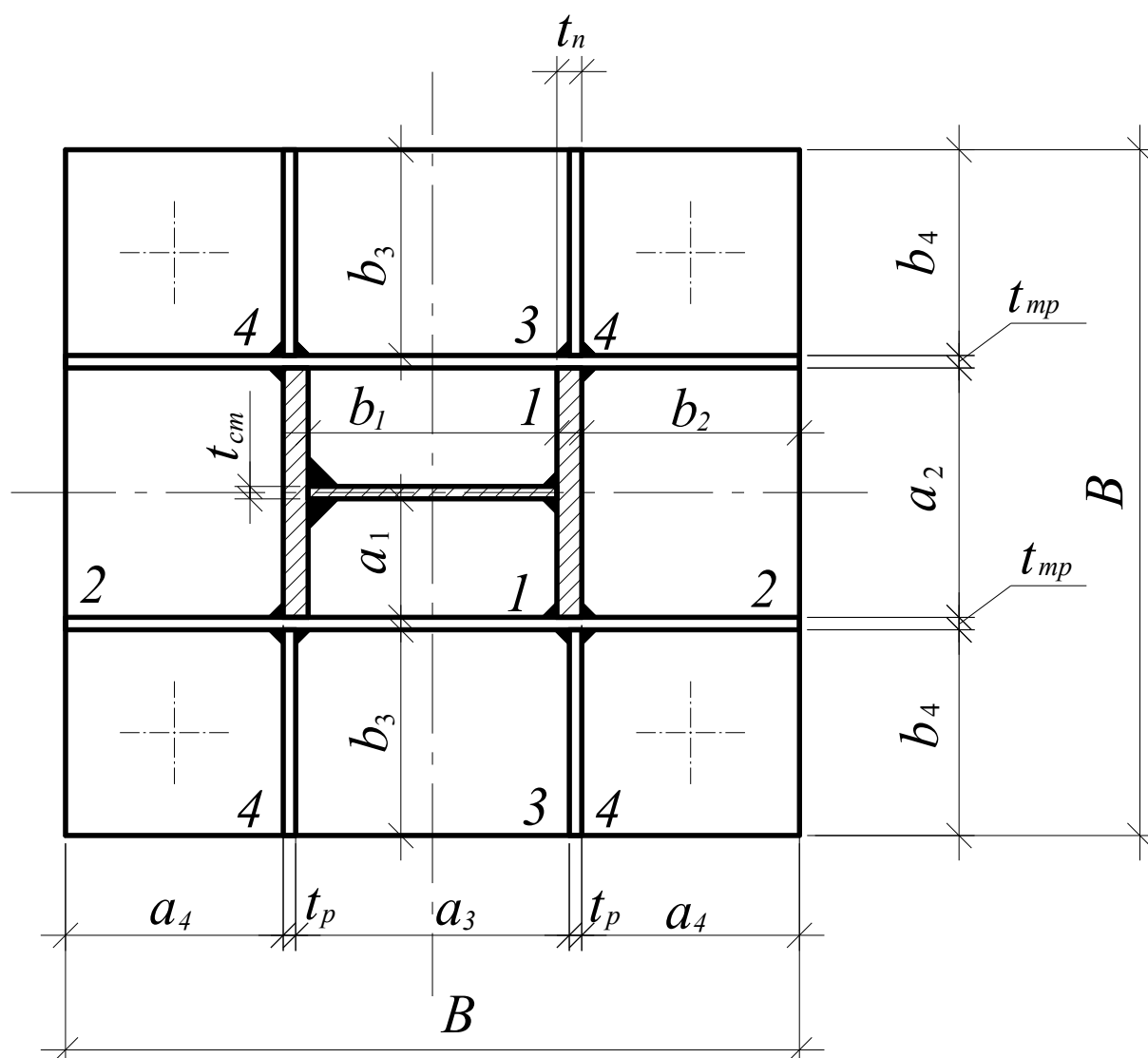


Рис. 18. К определению толщины опорной плиты

Для определения толщины опорной плиты на каждом участке вычисляются изгибающие моменты, зависящие от соотношения сторон. При опирании на три стороны – защемленной к свободной; при опирании на четыре стороны – большей к меньшей.

Участок 1 – работает на изгиб как пластина, опорная по четырем сторонам. Изгибающий момент  $M_1$  равен

$$M_1 = \alpha q_\phi a_1^2,$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от отношения длинной стороны  $b_1$  к короткой  $a_1$ ,  $\alpha = b_1 / a_1$  (см. прил. 5).

Участки 2 и 3 – пластина, опертая по трем сторонам. Изгибающие моменты  $M_2$  и  $M_3$  равны:

$$M_2 = \beta q_\phi a_2^2;$$

$$M_3 = \beta q_\phi a_3^2,$$

где  $\beta$  – коэффициент, зависящий от отношения закрепленной стороны пластины  $b_i$  к свободной  $a_i$ ,  $\beta = b_i / a_i$  (прил. 5).

Участок 4 – опирается по двум сторонам (рис.19). Изгибающий момент определяется как для пластины, опертая по трем сторонам, с условными размерами  $a'_4$  и  $b'_4$ .

$$M_4 = \beta q_\phi a_4'^2.$$

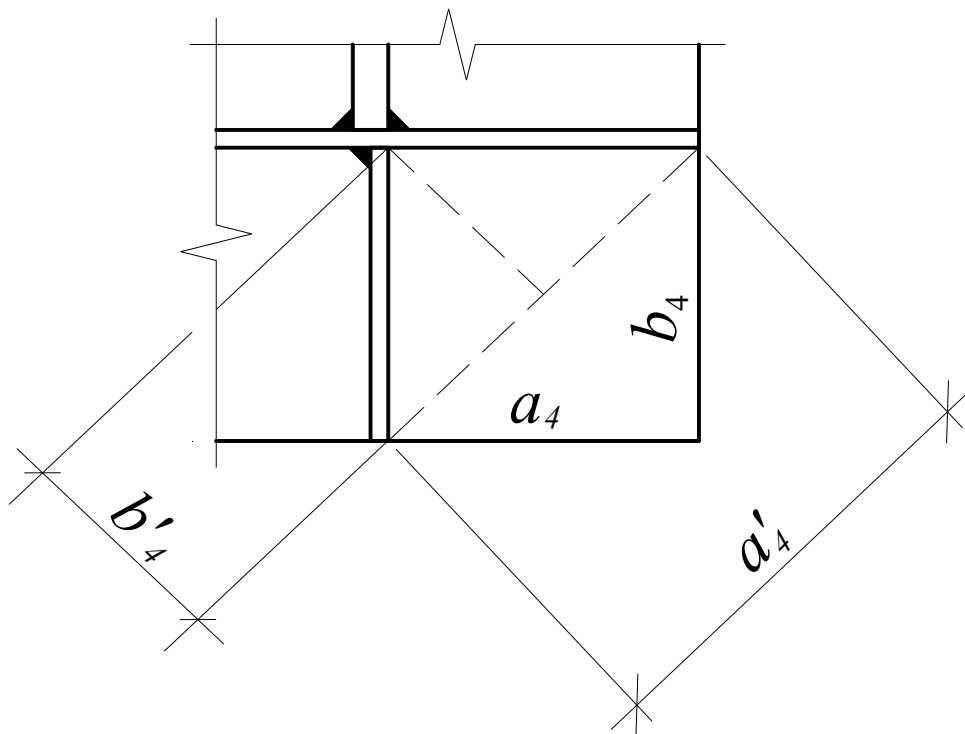


Рис. 19. К расчету участка 4

Толщина опорной плиты определяется из условия прочности участка пластины с максимальным изгибающим моментом  $M_{\max}$ :

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_{пл}} \leq R_y \gamma_c,$$

где

$$W_{пл} = \frac{1 \text{ см} \cdot t_{пл}^2}{6} = \frac{M_{\max}}{R_y \gamma_c}; \quad t_{пл} = \sqrt{\frac{M_{\max} \cdot 6}{R_y \gamma_c \cdot 1}}.$$

Толщина плиты принимается в соответствии с ГОСТом на листовую сталь и не должна превышать 40 мм.

Если  $t_{пл} > 40$  мм, необходимо уменьшить  $M_{\max}$  путем постановки дополнительных ребер жесткости на наиболее загруженных участках и повторить расчет.

### 3. ГРАФИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ РГР

Чертежи выполняются на листах формата А4 или на формате А2:

1. Главная балка в масштабе 1:20, два сечения в масштабе 1:5.
2. Болтовой монтажный стык главной балки в масштабе 1:10 в двух проекциях.
3. База колонны в трех проекциях в масштабе 1:10.
4. Стык второстепенной балки с главной в двух проекциях в масштабе 1:10.
5. Стык балок с колонной в трех проекциях в масштабе 1:10.

#### Библиографический список

1. СП 16.13330.2011. Актуализированная редакция «СНиП II-23-81\* Стальные конструкции». – М., 2011.
2. СП 20.13330.2011. Актуализированная редакция «СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия». – М., 2011.
3. Металлические конструкции: в 3т. Т.1. Элементы стальных конструкций: учеб. пособие для строительных вузов/ В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Уваров, В.В. Филиппов и др.; под ред. В.В.Горева. – М.: Высш.шк., 1997.
4. Металлические конструкции. Общий курс: учебник для вузов/ Е.И.Беленя, В.А.Балдин, Г.С.Ведеников и др.; под общ. ред. Е.И. Беленя. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986.

Задание на курсовую работу

Размеры ( $l_1 \times l_2$ ) ячейки балочной клетки (в метрах)

|                    |   | Вторая цифра шифра |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------------------|---|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                    |   | 1                  | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 0        |
| первая цифра шифра | 1 | 6,9x12,0           | 6,1x16,0 | 6,4x10,0 | 4,9x19,6 | 7,1x15,0 | 5,2x14,5 | 5,9x18,0 | 5,4x15,6 | 6,7x10,0 | 6,4x11,6 |
|                    | 2 | 6,8x12,6           | 6,2x17,7 | 6,0x10,5 | 4,8x19,2 | 7,2x14,7 | 5,4x14,0 | 5,6x18,6 | 5,5x15,2 | 6,8x10,5 | 6,5x11,2 |
|                    | 3 | 6,7x13,2           | 6,3x17,4 | 7,0x11,0 | 4,7x18,6 | 7,3x14,4 | 5,5x13,5 | 5,7x19,2 | 5,6x14,8 | 6,0x11,0 | 6,6x10,8 |
|                    | 4 | 6,6x13,8           | 6,4x17,1 | 5,1x11,5 | 5,0x18,4 | 7,4x14,1 | 5,8x13,0 | 5,6x19,8 | 5,7x14,4 | 7,1x11,5 | 6,7x10,4 |
|                    | 5 | 6,5x14,4           | 6,5x16,8 | 6,9x12,0 | 5,1x18,0 | 7,5x13,8 | 5,8x12,5 | 5,5x20,4 | 5,8x14,0 | 7,2x12,0 | 6,8x10,0 |
|                    | 6 | 6,4x15,0           | 6,6x16,5 | 5,7x12,5 | 5,2x17,6 | 7,6x13,5 | 5,9x12,0 | 5,4x21,0 | 5,9x13,6 | 7,3x12,5 | 6,9x19,6 |
|                    | 7 | 6,3x15,6           | 6,7x16,2 | 6,8x13,0 | 5,3x17,2 | 7,7x13,2 | 6,1x11,5 | 5,3x21,6 | 6,0x13,2 | 7,4x13,0 | 7,0x19,2 |
|                    | 8 | 6,2x16,2           | 6,8x15,9 | 6,3x13,5 | 5,4x16,8 | 7,8x12,9 | 6,2x11,0 | 5,2x22,2 | 6,1x12,8 | 7,5x13,5 | 7,1x19,8 |
|                    | 9 | 6,1x16,8           | 6,9x15,6 | 6,0x14,0 | 5,5x16,4 | 7,9x12,6 | 6,5x10,5 | 5,1x22,8 | 6,2x12,4 | 7,6x14,0 | 7,2x18,4 |
|                    | 0 | 6,0x17,4           | 7,0x15,3 | 5,7x14,5 | 5,6x16,0 | 8,0x12,3 | 6,6x10,0 | 5,0x23,4 | 6,3x12,0 | 7,7x14,5 | 7,3x18,0 |

Нагрузки и дополнительные данные

|                    |   | Нормативная нагрузка на междуэтажное перекрытие, кН/м <sup>2</sup> |           | Расчетная нагрузка от чердачного перекрытия, кН/м <sup>2</sup> | Нормативная нагрузка от покрытия и веса кровли, кН/м <sup>2</sup> | Число этажей, $n$ | Высота этажа (от пола до низа главной балки), $h$ , м | Район строительства |
|--------------------|---|--|-----------|--|---|-------------------|---|---------------------|
|                    |   | Постоянная   | Временная |  |   |                   |   |                     |
| третья цифра шифра | 1 | 2,9  | 6,5       | 4,0  | 0,90  | 3                 | 4,2   | 1                   |
|                    | 2 | 2,8  | 5,0       | 3,0  | 0,60  | 4                 | 5,4   | 2                   |
|                    | 3 | 3,2  | 5,5       | 3,8  | 0,75  | 5                 | 6,0   | 3                   |
|                    | 4 | 2,5  | 6,0       | 4,2  | 0,50  | 3                 | 4,8   | 4                   |
|                    | 5 | 2,0  | 6,5       | 3,6  | 1,00  | 4                 | 4,6   | 5                   |
|                    | 6 | 2,6  | 7,0       | 3,2  | 0,85  | 5                 | 4,2   | 1                   |
|                    | 7 | 2,4  | 7,5       | 3,4  | 0,70  | 5                 | 5,4   | 2                   |
|                    | 8 | 3,0  | 5,0       | 4,4  | 0,95  | 3                 | 6,0   | 3                   |
|                    | 9 | 2,2  | 5,5       | 4,5  | 0,60  | 4                 | 5,4   | 4                   |
|                    | 0 | 2,7  | 6,0       | 3,5  | 0,65  | 5                 | 6,0   | 5                   |



Сталь горячекатаная, балки двутавровые по ГОСТ 8239 – 89

| Но-<br>мер<br>балки | Размеры, мм |          |          |          |          |          | Линейная<br>плотность $\rho$ ,<br>кгс/м | Площадь<br>сечения,<br>см <sup>2</sup> | Справочные данные для осей  |                             |                |                             |                             |                             |                |
|---------------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|---|--|-----------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|
|                     |             |          |          |          |          |          |   |  | x - x                       |                             |                |                             | y - y                       |                             |                |
|                     | <i>h</i>    | <i>b</i> | <i>s</i> | <i>t</i> | <i>R</i> | <i>r</i> |   |  | $I_{x_2}$ , см <sup>4</sup> | $W_{x_2}$ , см <sup>3</sup> | $i_{x_2}$ , см | $S_{x_2}$ , см <sup>3</sup> | $I_{y_2}$ , см <sup>4</sup> | $W_{y_2}$ , см <sup>3</sup> | $i_{y_2}$ , см |
| 10                  | 100         | 55       | 4,5      | 7,2      | 7        | 2,5      | 9,48                                    | 12                                     | 198                         | 39,7                        | 4,06           | 23,0                        | 17,9                        | 6,49                        | 1,22           |
| 12                  | 120         | 65       | 4,8      | 7,3      | 7,5      | 3        | 11,5                                    | 14,7                                   | 350                         | 58,4                        | 4,88           | 33,7                        | 27,9                        | 8,72                        | 1,38           |
| 14                  | 140         | 73       | 4,9      | 7,5      | 8,0      | 3        | 13,7                                    | 17,4                                   | 572                         | 81,7                        | 5,73           | 46,8                        | 41,9                        | 11,50                       | 1,55           |
| 16                  | 160         | 81       | 5        | 7,8      | 6,5      | 3,5      | 15,9                                    | 20,2                                   | 873                         | 109                         | 6,57           | 62,3                        | 58,6                        | 14,50                       | 1,70           |
| 18                  | 180         | 90       | 5,1      | 8,1      | 9        | 3,5      | 18,4                                    | 23,4                                   | 1290                        | 143                         | 7,42           | 81,4                        | 82,6                        | 18,40                       | 1,88           |
| 20                  | 200         | 100      | 5,2      | 8,4      | 9,5      | 4        | 21                                      | 26,8                                   | 1840                        | 184                         | 8,28           | 104                         | 115                         | 23,10                       | 2,07           |
| 22                  | 220         | 110      | 5,4      | 8,7      | 10       | 4        | 24                                      | 30,6                                   | 2550                        | 232                         | 9,13           | 131                         | 157                         | 28,60                       | 2,27           |
| 24                  | 240         | 115      | 5,6      | 9,5      | 10,5     | 4        | 27,3                                    | 34,8                                   | 3460                        | 289                         | 9,97           | 163                         | 198                         | 34,50                       | 2,37           |
| 27                  | 270         | 125      | 6        | 9,8      | 11       | 4,5      | 31,5                                    | 40,2                                   | 5010                        | 371                         | 11,2           | 210                         | 260                         | 51,50                       | 2,54           |
| 30                  | 300         | 135      | 6,5      | 10,2     | 12       | 5        | 36,5                                    | 46,5                                   | 7080                        | 472                         | 12,3           | 268                         | 337                         | 49,90                       | 2,69           |
| 33                  | 330         | 140      | 7        | 11,2     | 13       | 5        | 42,2                                    | 53,8                                   | 9840                        | 597                         | 13,5           | 339                         | 419                         | 59,90                       | 2,79           |
| 36                  | 360         | 145      | 7,5      | 12,3     | 14       | 6        | 48,6                                    | 61,9                                   | 13380                       | 743                         | 14,7           | 423                         | 516                         | 81,10                       | 2,89           |
| 40                  | 400         | 155      | 8,3      | 13       | 15       | 6        | 57                                      | 72,6                                   | 19062                       | 953                         | 16,2           | 545                         | 667                         | 86,10                       | 3,03           |
| 45                  | 450         | 160      | 9        | 14,2     | 16       | 7        | 66,5                                    | 84,7                                   | 27696                       | 1232                        | 18,1           | 708                         | 808                         | 101                         | 3,09           |
| 50                  | 500         | 170      | 10       | 15,2     | 17       | 7        | 78,5                                    | 100                                    | 39727                       | 1589                        | 19,9           | 919                         | 1043                        | 123                         | 3,23           |
| 55                  | 550         | 180      | 11       | 16,5     | 18       | 7        | 92,6                                    | 118                                    | 55962                       | 2035                        | 21,8           | 1181                        | 1356                        | 151                         | 3,39           |
| 60                  | 600         | 190      | 12       | 17,8     | 20       | 8        | 108                                     | 138                                    | 78806                       | 2560                        | 23,6           | 1491                        | 1725                        | 182                         | 3,54           |

**ГОСТы на листовую сталь**  
**Сталь листовая горячекатаная, ГОСТ 19903 – 74\***

| Толщина, мм                    | Ширина, мм   |
|--------------------------------|--|
| 6, 7                           | 700, 710, 750, 800, 900, 1000, 1100, 1250, 1400, 1420, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000                        |
| 8, 9, 10                       | 700, 710, 750, 800, 900, 950, 1000, 1100, 1250, 1400, 1420, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300 |
| 11, 12                         | 1000, 1100, 1250, 1400, 1420, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500                   |
| 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 | 1000, 1100, 1250, 1400, 1420, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2700   |
| 21, 22, 24                     | 1000, 1100, 1250, 1400, 1420, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100   |
| 26, 28, 30, 32                 | 1250, 1400, 1420   |
| 34, 36, 38, 40                 | 1250, 1400, 1420, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100   |

34

**Сталь прокатная широкополосная универсальная, ГОСТ 82 – 70\***

| Толщина, мм  | Ширина, мм   |
|--|--|
| 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 40 | 200, 210, 220, 240, 250, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 450, 480, 500, 530, 560, 600, 630, 650, 670, 700, 750, 800, 850, 900, 1000, 1050 |

Широкополосная сталь поставляется длиной от 5...12 м, возможно до 18 м

**Сталь полосовая ГОСТ 103 – 57**

| Толщина, мм  | Ширина, мм  |
|--|---|
| 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 40 | 50, 56, 60, 63, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 120, 125, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200 |

**Расчетное сопротивление бетона сжатию  $R_b$**

|   |      |      |       |      |      |
|---|------|------|-------|------|------|
| Класс прочности                             | B7,5 | B10  | B12,5 | B15  | B20  |
| Расчетное сопротивление, кН/см <sup>2</sup> | 0,45 | 0,60 | 0,75  | 0,85 | 1,15 |

**Коэффициент  $\alpha$**

|          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |            |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| b/a      | 1,0   | 1,1   | 1,2   | 1,3   | 1,4   | 1,5   | 1,6   | 1,7   | 1,8   | 1,9   | $\geq 2,0$ |
| $\alpha$ | 0,048 | 0,055 | 0,063 | 0,069 | 0,075 | 0,081 | 0,086 | 0,091 | 0,094 | 0,098 | 0,125      |

**Коэффициент  $\beta$**

|         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| b/a     | 0,5   | 0,6   | 0,7   | 0,8   | 0,9   | 1,0   | 1,2   | 1,4   | 2,0   | $>2$  |
| $\beta$ | 0,060 | 0,074 | 0,088 | 0,097 | 0,107 | 0,112 | 0,120 | 0,126 | 0,132 | 0,133 |