

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»  
Кафедра строительных конструкций

С.Б.КОЛОКОЛОВ

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНО- СЖАТОЙ КОЛОННЫ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ  
КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Рекомендовано к изданию  
Редакционно-издательским советом  
государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2005

УДК 693.554.22(07)

ББК 38.708я7

К 61

Рецензент

кандидат технических наук, доцент О.В.Никулина

К 61            **Колоколов С.Б.**  
**Проектирование центрально сжатой колонны: [Текст];**  
**методические указания к выполнению курсового проекта /**  
**С.Б.Колоколов - Оренбург : ГОУ ОГУ, 2005 – 30с.**

Методические указания предназначены для использования при выполнении курсового проекта по металлическим конструкциям студентами строительных специальностей всех форм обучения

ББК 38.708я7

© Колоколов С.Б.,2005

© ГОУ ОГУ, 2005

## Введение

Проектирование центрально сжатой колонны входит в качестве составляющей части в курсовое проектирование по металлическим конструкциям. Расчетная часть работы включает подбор рациональных размеров поперечного сечения стержня колонны, обеспечивающих её прочность и устойчивость. Для сквозных колонн добавляется также подбор решетки и проверка её прочности и устойчивости, а также прочности прикрепления ее элементов к ветвям. В конструктивной части разрабатывается конструкция оголовка, обеспечивающая рациональную передачу нагрузки на стержень колонны от опирающейся на неё балки, и выполняются необходимые поверочные расчеты соединений. Разрабатывается также конструкция базы в соответствии с заданным типом и осуществляется подбор размеров опорной плиты и поверочный расчет прикрепления стержня колонны к базе.

Исходными данными при проектировании являются геометрическая длина колонны, действующая на колонну нагрузка, способ опирания на колонну балки, конфигурация сечения стержня колонны, тип конструкции базы. Часть этих данных: конфигурация сечения стержня колонны и тип конструкции базы - определяется вариантом задания и приведена в таблице П1 Приложения. Геометрическая длина колонны, действующая на колонну нагрузка и способ опирания на колонну балки являются в рамках курсового проекта выходной информацией проектирования балочной площадки, но могут быть заданы и независимо.

Графическая часть проектирования представляется в виде рабочего чертежа колонны (стадия проектирования КМД), который может быть совмещен с рабочим чертежом элемента балочной площадки. На чертеже изображается общий вид колонны и необходимые разрезы и виды, поясняющие конструкцию и соединения элементов колонны. Приведенные на чертеже размеры, а также параметры сварных соединений должны обеспечить возможность изготовления колонны в заводских условиях. На чертеже приводится спецификация материала, необходимого для изготовления одной марки.

# 1 Общие положения по проектированию колонны

Основной частью колонны является стержень, поперечное сечение которого необходимо запроектировать. Стержень колонны может иметь сплошное или сквозное сечение. Стержень со сквозным сечением представляет собой две и более ветви, соединенные между собой решеткой: безраскосной – соединение на планках - или раскосной – соединение с помощью раскосов. Верхняя часть колонны - оголовок - обеспечивает надежное опирание балки на колонну, нижняя часть – база – предназначена для передачи усилий со стержня колонны на фундамент.

Стержень колонны работает на центральное сжатие и должен удовлетворять требованиям прочности и устойчивости. Условие устойчивости колонны

$$N / (\varphi A) \leq R_y \gamma_c, \quad (1)$$

где  $A$  - площадь поперечного сечения стержня колонны,

$N$  - продольная сила в колонне,

$R_y$  - расчетное сопротивление материала стержня сжатию,

$\gamma_c$  - коэффициент условия работы,

$\varphi$  - коэффициент продольного изгиба, зависящий от гибкости колонны, значение которого можно найти в [4, приложение 6].

Расчетное значение продольной силы определяется как сумма нагрузки, передаваемой на колонну с опирающихся на колонну элементов конструкции, и собственного веса колонны. Собственный вес колонны можно предварительно задать равным одной десятой от нагрузки на колонну и после выбора поперечного сечения перед выполнением проверки уточнить.

В формуле (1) две неизвестные величины: площадь поперечного сечения и коэффициент продольного изгиба. Первая из них является искомой величиной, вторая зависит от гибкости стержня колонны. В свою очередь, гибкость является функцией геометрических размеров колонны и условий закрепления ее концов. Таким образом, количество неизвестных в неравенстве (1) возрастает и решение его существенно неоднозначно. Поэтому решение осуществляется методом последовательных приближений. На начальном этапе задается ориентировочное значение гибкости стержня  $\lambda$ . Исходя из опыта проектирования, рекомендуется гибкость колонны назначать в пределах  $\lambda = 60 \dots 80$ . Средние в этом диапазоне значения гибкости принимаются для колонн, нагруженных продольной силой порядка 2500 кН, для более нагруженных колонн гибкость принимается меньшей, для менее нагруженных – большей. Зная гибкость, нетрудно найти соответствующий этой гибкости коэффициент продольного изгиба  $\varphi$ . Таблица для определения этого коэффициента приведена в [1,2,4]. Теперь может быть вычислена требуемая площадь

поперечного сечения стержня колонны, обеспечивающая выполнение условия (1)

$$A_{mp} = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_o}, \quad (2)$$

По назначенной гибкости вычисляется начальный радиус инерции сечения

$$i_0 = l_{ef} / \lambda, \quad (3)$$

где  $l_{ef}$  - расчетная длина колонны.

Форма изогнутой оси при потере устойчивости стержня зависит от условий закрепления концов: при шарнирном закреплении концов она имеет вид полуволны синусоиды. В этом случае расчетная длина равна геометрической длине колонны. В рамках выполняемого курсового проекта можно принять закрепление концов колонны шарнирным: шарнирное примыкание балок и шарнирное опирание на фундамент. Геометрическая длина колонны равна разности отметки уровня передачи нагрузки на колонну и отметки поверхности опорной плиты колонны (эта отметка может приниматься в данной работе 0.00).

Подбор или конструирование сечения стержня колонны необходимо производить исходя из требования равноустойчивости относительно двух главных осей симметрии ( $\lambda_x \approx \lambda_y$ ). Выполнить строго это условие далеко не всегда удается, а для двутаврового сечения это вообще невозможно. Тогда подбор производится по большей гибкости. Кроме того, одновременно удовлетворить требование по площади и по радиусу инерции можно лишь при значительном перерасходе материала. Поэтому вычисленные значения  $i_0$  и  $A_{mp}$  являются лишь ориентирами для подбора рационального сечения стержня колонны.

Если известна структура сечения (из каких элементов оно составляется), то ориентировочно размеры (габариты) сечения можно определить с помощью таблицы 1, в которой приведены габариты сечений, обеспечивающие значения радиусов инерции  $i_x$  и  $i_y$ . Как видно из рассмотрения таблицы, почти все сечения представляют собой отделенные друг от друга элементы и вычисление радиусов инерции для этих сечений является формальным актом. В действительности отдельные части колонны соединены в целое либо с помощью полос по всей длине колонны (сплошностенчатое сечение), либо с помощью планок или раскосов (сквозное сечение). Поэтому после назначения размеров элементов сечения (или выборе стандартных фасонных профилей, из которых оно составляется) необходимо вычислить действительное значение радиусов инерции, а затем и гибкость для

сплошностенчатых сечений или приведенные гибкости для сквозных сечений. Более детально алгоритм подбора сечения колонн приведен ниже.

## 2 Подбор двутаврового сечения колонны

Двутавровое сечение колонны не является рациональным, поскольку не обеспечивает равноустойчивости ( $\lambda_x \approx \lambda_y$ ): для двутаврового сечения выполнение этого требования означает, что ширина сечения должна быть больше высоты почти в 1,8 раза. Стандартные прокатные двутавровые сечения, используемые для колонн, например, двутавры с параллельными гранями полка типа К, имеют ширину сечения  $b$  примерно равную высоте  $h$  (сечение 5 в таблице 1). Поэтому радиусы инерции сечения относительно главных осей стандартных двутавров существенно отличаются по величине. Подбор стандартных двутавров для колонн осуществляется по меньшему радиусу инерции и требуемой площади поперечного сечения, вычисленной по формуле (2). Если ни один из стандартных профилей не отвечает требованиям прочности и устойчивости, приходится конструировать двутавровое сечение, составленное из листовой стали. Ширину сечения (ширину поясов) можно назначить исходя из значения радиуса инерции (формула (3), соответствующего принятой гибкости стержня колонны, с помощью таблицы 1 ( $b=4,17 i_y$ ), а высоту  $h$  - равной ширине. Толщину стенки  $t_w$  в первом приближении можно определить исходя из обычного соотношения площадей поясов и стенки широкополочных двутавров (4:1)

$$t_w = 0,2 A_{mp} / h, \quad (4)$$

толщину пояса  $t_f$

$$t_f = 0,4 A_{mp} / b. \quad (5)$$

Толщину стенки и поясов нужно согласовать с сортаментом.

Теперь нужно уточнить площадь поперечного сечения полученного сечения

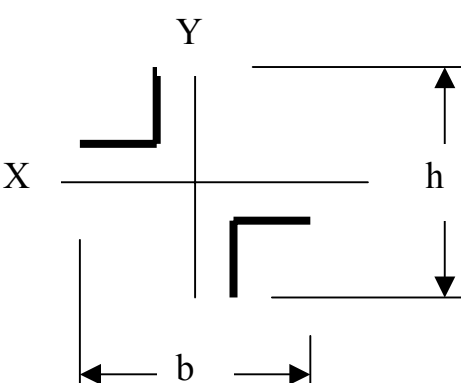
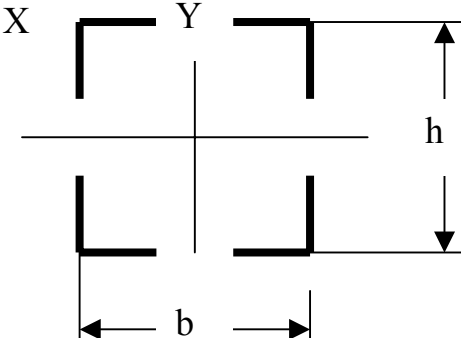
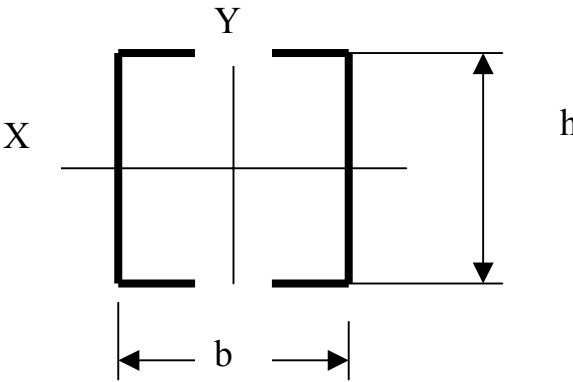
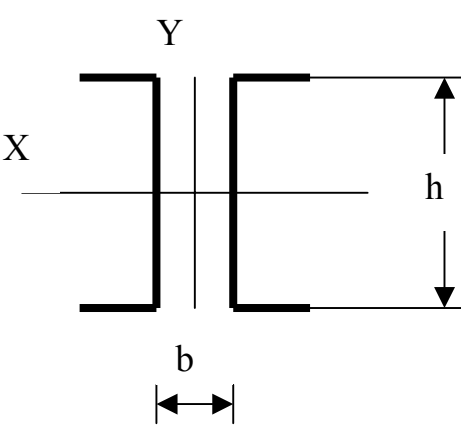
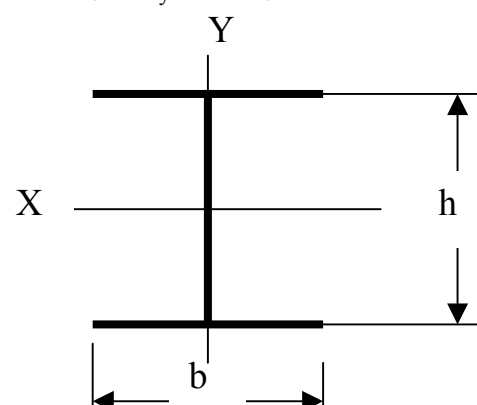
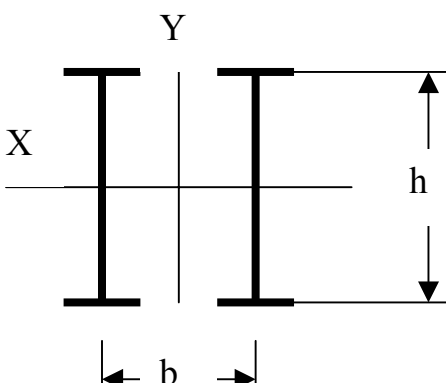
$$A = t_w h_w + 2 t_f b, \quad (6)$$

где  $h_w$  – высота стенки

$$h_w = h - 2 t_f. \quad (7)$$

Толщину стенки и поясов нужно согласовать с сортаментом.

Таблица 1- Ориентировочные значения размеров поперечных сечений, соответствующих радиусам инерции

Тип сечения	Тип сечения
<p>1 <math>b=4,76 i_y</math> <math>h=4,76 i_x</math></p> 	<p>2 <math>b=2,32 i_y</math> <math>h=2,32 i_x</math></p> 
<p>3 <math>b=2,27 i_y</math> <math>h=2,63 i_x</math></p> 	<p>4 <math>b=1,67 i_y</math> <math>h=2,63 i_x</math></p> 
<p>5 <math>b=4,17 i_y</math> <math>h=2,33 i_x</math></p> 	<p>6 <math>b=1,92 i_y</math> <math>h=2,56 i_x</math></p> 



Фактические геометрические характеристики полученного сечения:  
площадь поперечного сечения

$$A = t_w h_w + 2t_f b, \quad (8)$$

где  $h_w$  – высота стенки

$$h_w = h - 2t_f, \quad (9)$$

момент инерции сечения

$$J_y = h_w t_w^3 / 12 + 2t_f b^3 / 12, \quad (10)$$

радиус инерции сечения

$$i_y = \sqrt{J_y / A}, \quad (11)$$

гибкость стержня

$$\lambda_y = i_y l_p, \quad (12)$$

условная гибкость

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y \sqrt{R_y / E}. \quad (13)$$

После определения фактических геометрических характеристик сечения надо выполнить проверку местной устойчивости стенки и поясов [4, разделы 7.14 и 7.23]. Если устойчивость стенки не обеспечивается, нужно увеличить ее толщину, то же касается и пояса.

Теперь можно выполнить по формуле (1) проверку устойчивости стержня колонны, предварительно определив коэффициент продольного изгиба  $\varphi$ . Если условие устойчивости не выполняется следует скорректировать размеры сечения. Больше всего на гибкость  $\lambda_y$  влияет ширина сечения, поэтому лучше несколько увеличить ширину. Изменив размеры сечения, следует снова вычислить геометрические характеристики по формулам (8) – (13) и проверить устойчивость стержня колонны.

### 3 Подбор сплошнотенчатого коробчатого сечения

Коробчатое сечение может быть составлено из двух швеллеров, двух двутавров или четырех уголков, соединенных между собой полосами по всей высоте колонны (рисунок 1).

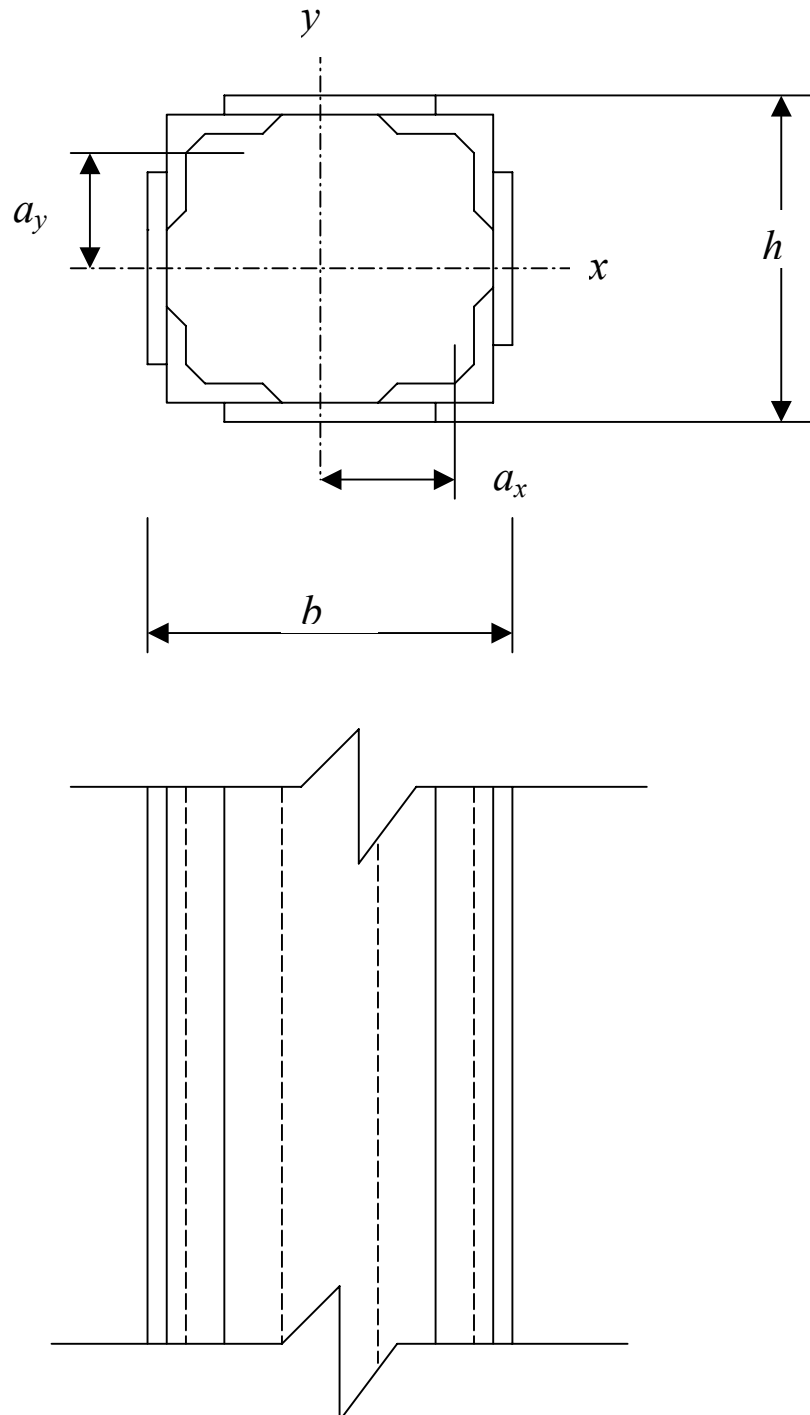


Рисунок 1 – Фрагмент стержня колонны с коробчатым сечением

Определив по формулам (1) и (2)  $A_{mp}$  и  $i_0$ , по таблице соответствия размеров сечения и радиусов инерции (таблица 1) можно найти ориентировочные размеры сечения. Далее надо подобрать прокатные профили, подходящие по размерам площади поперечного сечения с учетом соединительных полос. Толщину соединительных полос следует назначать не менее толщины стенки соединяемых элементов. После этого нужно вычислить действительные значения геометрических параметров сечения: площадь поперечного сечения

$$A = n_e A_e + n_p t_p b_p, \quad (14)$$

где  $n_e$  – количество прокатных элементов сечения (на рисунке четыре уголка, т.е.  $n_e = 4$ ),

$n_p$  – количество полос, соединяющих элементы (на рисунке их также четыре, т.е.  $n_p = 4$ ),

$A_e$  – площадь поперечного сечения прокатного элемента,

$t_p$  – толщина соединительных полос,

$b_p$  – ширина соединительных полос,

моменты инерции сечения

$$J_x = n_e (J_{ex} + A_e (h/2 - a_y)^2) + n_{px} t_p b_p (h/2 + t_p/2)^2 + n_{py} t_p b_p^3 / 12, \quad (15)$$

$$J_y = n_e (J_{ey} + A_e (b/2 - a_x)^2) + n_{py} t_p b_p (b/2 + t_p/2)^2 + n_{px} t_p b_p^3 / 12, \quad (16)$$

где  $J_{ex}$ ,  $J_{ey}$  – моменты инерции прокатных элементов относительно собственных осей, параллельных осям  $x$  и  $y$ ,

$n_{px}, n_{py}$  – количество соединительных полос, параллельных, соответственно, осям  $x$  и  $y$ ,

радиусы инерции сечения

$$i_x = \sqrt{J_x / A}, \quad (17)$$

$$i_y = \sqrt{J_y / A}, \quad (18)$$

гибкости стержня

$$\lambda_x = i_x l_p, \quad (19)$$

$$\lambda_y = i_y l_p. \quad (20)$$

Определив соответствующее большей гибкости значение коэффициента продольного изгиба  $\varphi$  нужно проверить колонну на устойчивость по формуле (1). Если условие устойчивости не выполняется, то следует скорректировать размеры сечения. Корректировку сечения удобнее всего делать, изменяя размеры сечения соединительных полос. Корректировка желательна также, если гибкости  $\lambda_x$  и  $\lambda_y$  отличаются больше, чем на 20 процентов. В этом случае нужно увеличить меньшую гибкость, учитывая в то же время, что и большая гибкость при изменении размеров сечения изменяется.

#### 4 Подбор сквозного сечения при соединении ветвей на планках

Сквозное сечение колонны подбирают вначале из условия устойчивости относительно материальной оси, т.е. оси симметрии  $x$  сечения, проходящей по ветвям. Поскольку гибкость всего стержня колонны относительно этой оси такая же, как гибкость отдельной ветви, подбор сечения ветвей производится так же, как и для сплошностенчатого сечения. Подбрав прокатный профиль для ветвей, удовлетворяющий условию устойчивости (1), можно перейти к рассмотрению устойчивости относительно свободной оси  $y$ , перпендикулярной материальной оси  $x$ . Ширину сечения  $b$  предварительно можно назначить с помощью таблицы 1 соответствия размеров и радиусов инерции, округлив полученную величину до 10мм. Величина радиуса инерции сечения стержня колонны относительно свободной оси ( $i_y$ ) приблизительно равна половине расстояния между осями (центрами тяжести) ветвей. Зная величину радиуса инерции  $i_y$ , можно найти гибкость  $\lambda_y$  (гибкость стержня колонны относительно свободной оси без учета податливости решетки), пользуясь формулой (20). Гибкость  $\lambda_y$  нужна для определения действительной (приведенной) гибкости  $\lambda_{ef}$ . Приведенная гибкость определяется в соответствии с [4, раздел 5.6] по формуле

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}. \quad (21)$$

Гибкость ветви относительно свободной оси (оси  $y$ ) на участке между планками  $\lambda_1$  нужно назначить в интервале от 20 до 40. Рационально подобранным сквозным сечением считается такое, для которого

$$\lambda_{ef} \approx \lambda_x, \quad (22)$$

Если приведенная гибкость  $\lambda_{ef}$  больше, чем  $\lambda_x$ , то следует увеличить расстояние между ветвями, если же, наоборот, приведенная гибкость меньше  $\lambda_x$  более, чем на 20%, то расстояние между ветвями нужно уменьшить. Однако расстояние между осями ветвей из эксплуатационных соображений должно быть таким, чтобы просвет между ветвями составлял не менее 100 мм (рисунок 2).

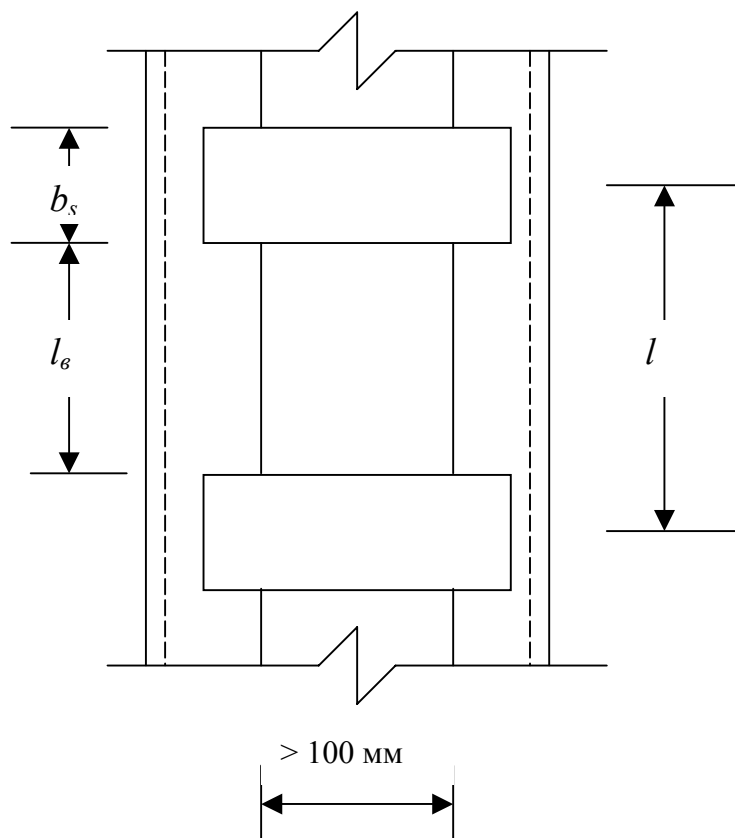


Рисунок 2 – Фрагмент колонны на планках

Расстояние между планками  $l_g$ , соответствующее назначенной гибкости ветви

$$l_g = \lambda_1 \cdot i_{y\phi}, \quad (23)$$

где  $i_{y\phi}$  – радиус инерции сечения ветви относительно собственной оси (оси, проходящей через центр тяжести сечения ветви и параллельной свободной оси сечения стержня колонны). Величину  $l_g$  следует округлить до 10мм в меньшую сторону.

Теперь следует назначить размеры планок. Длина планки принимается исходя из возможности закрепления её на ветвях: планки обычно заводят на ветви от 20 до 30 мм (это расстояние нужно согласовать с минимально допустимым по СНиП [4, раздел 12.8]), чтобы приварить их к ветвям угловыми швами. Ширина планки  $b_s$  – от 200 до 300 мм, толщина  $t_s$  – от 6 до 12 мм, при выполнении условия  $b_s/t_s < 50$ . Если выполняется условие

$$t_s \geq \frac{60J_b b}{b_s^3 l}, \quad (24)$$

где  $b$  - расстояние между осями ветвей,  
 $J_b$  - момент инерции ветви относительно собственной оси ветви,  
 параллельной свободной оси стержня колонны,

то оправдано использование формулы (21). В противном случае следует пользоваться более точной формулой [4, раздел 5.6].

Количество планок можно определить по формуле

$$t = \frac{l}{l_g + b_s} - 1, \quad (25)$$

с округлением до большего целого. Расстояние между планкой и верхом или низом колонны может быть меньше, чем свободная длина  $l_g$ .

Планки должны быть проверены на прочность их крепления к ветвям. Для этого необходимо найти условную поперечную силу

$$Q_{fic} = 7,15 \cdot 10^{-6} (2330 - E / R_y) N / \varphi, \quad (26)$$

где  $N$  – расчетная продольная сила в колонне,

$\varphi$  - коэффициент продольного изгиба стержня колонны, соответствующий гибкости  $\lambda_x$ .

Срезающая сила, действующая на планку

$$F = \frac{Q_{fic} \cdot l}{2b}, \quad (27)$$

изгибающий момент, действующий на планку

$$M = \frac{Q_{fic} \cdot l}{4}. \quad (28)$$

Катет шва, прикрепляющего планку к ветви

$$k_f \geq \frac{1}{R_w \gamma_w} \sqrt{\left(\frac{6M}{\beta \cdot l_w}\right)^2 + \left(\frac{F}{\beta \cdot l_w}\right)^2}, \quad (29)$$

где  $l_w = (b_s - 10\text{мм})$  – длина шва крепления планки к ветви (если оговорить, что швы заводятся на торцы планок, то  $l_w = b_s$ ),

$R_w$ ,  $\gamma_w$ ,  $\beta$  - соответствующие величины расчетных сопротивлений и коэффициентов.

Полученное значение катета шва следует согласовать с требованиями СНиП [4, раздел 12.8] по минимальной и максимальной величине катета. При

необходимости можно изменить длину шва (ширину планки) в большую сторону.

Прочность планки на изгиб проверяется по формуле:

$$\frac{6M}{t_s b_s^2} \leq R_y \gamma_c, \quad (30)$$

Теперь нужно уточнить приведенную гибкость стержня и выполнить окончательную проверку устойчивости колонны.



## 5 Подбор сечения стержня колонны из двух ветвей с раскосной решеткой

Фрагмент стержня колонны с раскосной решеткой показан на рисунке 3. В данном разделе рассматривается двухветвевая колонна (два двутавра или два швеллера, соединенных между собой раскосами). Четырехветвевая колонна (четыре уголка, соединенных между собой раскосами, расположенными в плоскостях, параллельных двум главным осям сечения) рассмотрена в следующем разделе. Подбор сечения относительно материальной оси осуществляется так же как и при соединении ветвей на планках. Приведенная гибкость относительно свободной оси при раскосной решетке определяется по формуле [4, раздел 5.6]:

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \alpha \cdot A / A_d}, \quad (31)$$

где  $\lambda_y$  – гибкость стержня колонны относительно свободной оси без учета податливости решетки,

$$\alpha = \frac{\sqrt{(b^2 + l^2)^3}}{b^2 l}, \quad (32)$$

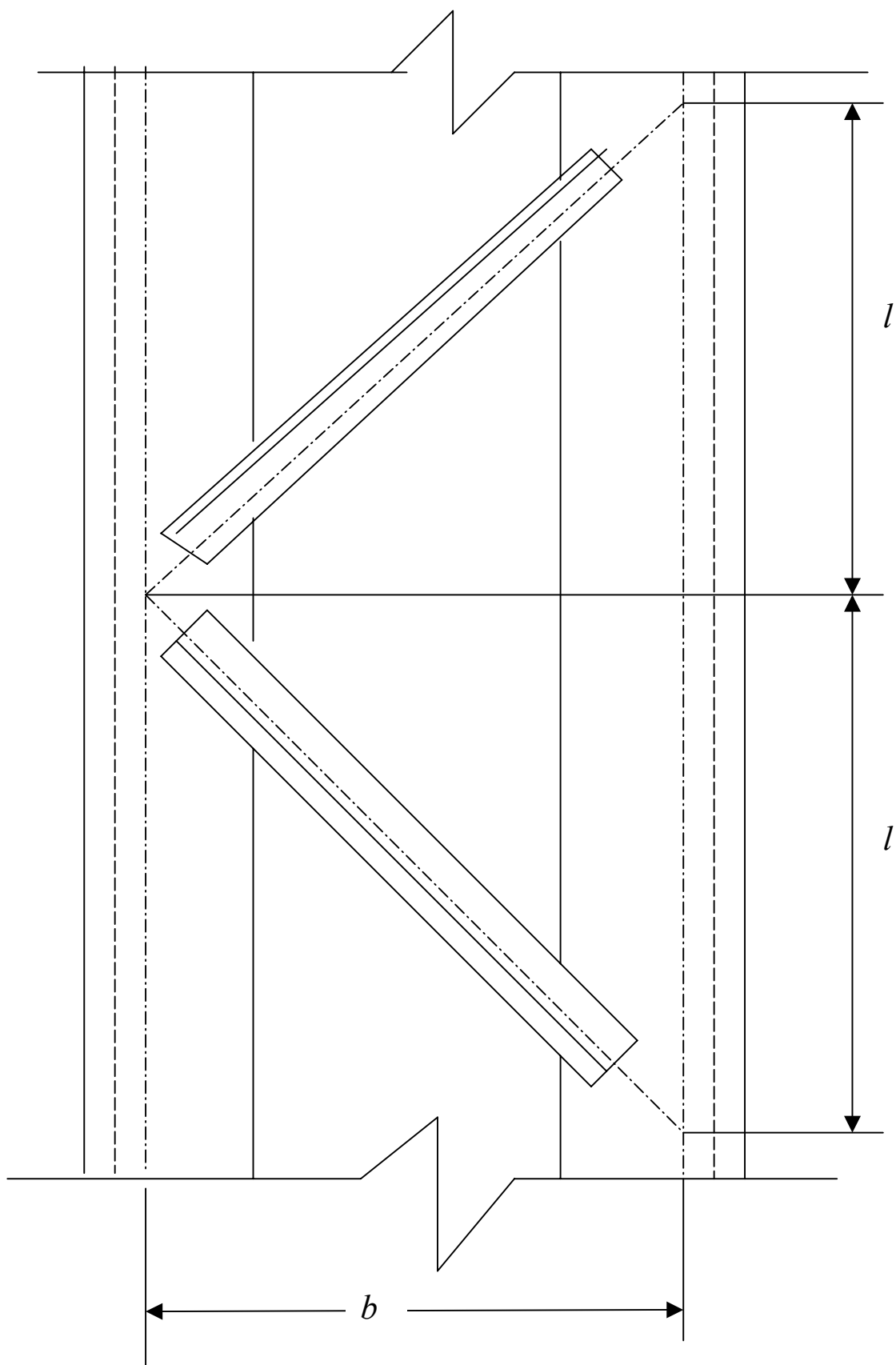


Рисунок 3 – Фрагмент стержня колонны с раскосной решеткой

$b$  – расстояние между осями ветвей,  
 $l$  – расстояние между точками пересечения оси раскоса с осями ветвей (рисунок 2),

$A$  – суммарная площадь поперечного сечения ветвей колонны,

$A_d$  – суммарная площадь поперечного сечения раскосов, расположенных в двух параллельных плоскостях (при треугольной решетке – площадь поперечного сечения двух раскосов).

Обычно в качестве раскосов используется уголок с размерами полок от 40 до 50 мм. Угол наклона раскосов к горизонтальной оси  $\beta$  рекомендуется принять равным  $45^\circ$ , тогда их длина будет наименьшей. В этом случае коэффициент  $\alpha = 28$ . Для обеспечения равноустойчивости колонны нужно, чтобы приведенная гибкость относительно свободной оси  $\lambda_{ef}$  была равна гибкости относительно материальной оси  $\lambda_x$ . Подставив значение гибкости  $\lambda_x$  вместо  $\lambda_{ef}$ , а также вычисленное значение коэффициента  $\alpha$ , площадь поперечного сечения выбранных раскосов и ветвей в формулу (31), можно найти требуемую гибкость  $\lambda_y$ . Расстояние между осями ветвей  $b$  можно назначить равным удвоенному значению радиуса инерции  $i_y$ , которое определяется по формуле

$$i_y = \lambda_y l_p . \quad (33)$$

При этом следует помнить, что зазор между ветвями должен быть не менее 10 см. Расстояние  $l$  между узлами крепления раскосов (свободная длина ветви) назначается согласно принятому углу наклона раскосов. Гибкость ветви на участке между узлами крепления раскосов согласно СНиП [4, раздел 5.6] должна быть не более 80 и не более  $\lambda_x$ . Эта гибкость определяется по формуле

$$\lambda_g = 2l / i_g , \quad (34)$$

где  $i_g$  – радиус инерции ветви относительно собственной оси инерции, параллельной свободной оси сечения  $y$  (эта характеристика указывается в сортаменте).

Теперь следует проверить раскосы на устойчивость. Усилие в раскосе

$$N_{ad} = Q_{fic} / (2 \sin \beta), \quad (35)$$

где  $Q_{fic}$  определяется по формуле (26) .

Устойчивость раскоса проверяется по формуле

$$N_{ad} \leq \varphi \cdot A_d R_y \cdot \gamma_c , \quad (36)$$

где  $\varphi$  - коэффициент продольного изгиба, определяемый по гибкости раскоса  $\lambda_d$ ,

$$\lambda_d = i_d l_d, \quad (37)$$

$i_d$  – минимальный радиус инерции сечения раскоса, который определяется по сортаменту,

$l_d$  – расчетная длина раскоса,

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы раскоса, определяемый в соответствии с [4, раздел 4] для сжатого элемента из одиночного уголка.

При определении гибкости раскоса расчетная длина раскоса может быть принята равной

$$l_d = \sqrt{b^2 + l^2 / 4}. \quad (38)$$

Если устойчивость раскоса не обеспечена, то его сечение нужно увеличить.

После уточнения параметров сечения стержня следует вычислить приведенную гибкость и, если она окажется больше гибкости относительно материальной оси  $\lambda_x$ , проверить колонну на устойчивость относительно свободной оси по формуле (1).

Сварные швы, прикрепляющие раскосы к ветвям, должны быть проверены на срез от усилия  $N_{ad}$ . При этом сварной шов по обушку уголка должен воспринимать  $0,7 N_{ad}$ , а шов, прикрепляющий перо уголка – усилие  $0,3 N_{ad}$ .

## 6 Подбор сечения стержня колонны из четырех ветвей

Четырехветвевая колонна чаще всего проектируется из четырех равнополочных уголков. Такая колонна не имеет материальной оси и ее приведенная гибкость при раскосной решетке определяется по формуле

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + 2\alpha A / A_p}, \quad (39)$$

а при безраскосной решетке по формуле

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + 2\lambda_1^2}. \quad (40)$$

Обозначения входящих в формулы величин см. в разделах 5 и 6 настоящих методических указаний.

Подбор сечения осуществляется в следующем порядке. Вначале назначается гибкость стержня колонны  $\lambda$ , находится соответствующий ей коэффициент  $\varphi$  и требуемая площадь поперечного сечения колонны  $A_{mp}$ . Определяется также и соответствующая гибкости  $\lambda$  величина радиуса инерции сечения

$$i_{mp} = l_p / \lambda. \quad (41)$$

По сортаменту уголкового профиля подбирается сечение ветвей: суммарная площадь ветвей должна составлять не менее  $A_{mp}$ . Расстояние между осями ветвей в первом приближении можно принять равным  $2i_{mp}$ , поскольку собственные моменты инерции ветвей мало влияют на величину радиуса инерции. При назначении расстояния между ветвями нужно помнить, что из соображений удобства эксплуатации колонны между ветвями должен оставаться технологический зазор не менее 10 см. Затем выбираются уголки для раскосов и назначается угол  $\beta$  их наклона к горизонту (при раскосной решетке) или назначается гибкость  $\lambda_1$  участка свободной длины ветви при соединении ветвей на планках. При раскосной решетке определяется гибкость ветви на участке между узлами крепления раскосов по формуле (34), которая согласно СНиП [4, раздел 5.6] должна быть не более 80 и не более  $\lambda$ . Уменьшить гибкость ветви между узлами крепления раскосов можно уменьшая угол их наклона  $\beta$ . Подбор планок, проверка планок и раскосов и швов прикрепления их к ветвям описаны в предыдущих разделах, посвященных подбору двухветвевой колонны. После уточнения всех размеров стержня колонны уточняется величина гибкости  $\lambda$ , вычисляется приведенная гибкость  $\lambda_{ef}$ , находится соответствующий ей коэффициент  $\varphi$  и осуществляется проверка стержня на устойчивость. Если устойчивость не обеспечена, то следует усилить стержень колонны одним из двух предлагаемых ниже вариантов. Во-первых, можно, оставив те же уголки, увеличить между ними расстояние. Во-вторых,

можно, сохранив расстояние между ветвями, увеличить площадь сечения ветвей (взять более тяжелый профиль).

## 7 Ребра и диафрагмы жесткости

Если гибкость стенки составного сечения сплошной колонны велика, т.е.

$$h_w/t_w \geq 2,3\sqrt{E/R_y} , \quad (42)$$

то, согласно СНиП [4, раздел 7.21] она должна быть усилена поперечными ребрами жесткости. Сквозные колонны в соответствии с нормой СНиП [4, раздел 13.11] укрепляются диафрагмами (пластинами с толщиной не менее 8 мм, располагаемыми перпендикулярно оси стержня колонны. Пример диафрагмы, установленной в стержне колонны на планках показан на рисунке 4.

## 8 Оголовки колонн

Конструкция оголовка должна обеспечить благоприятную передачу усилий с главной балки на стержень колонны. Элементом оголовка, непосредственно воспринимающим опорное усилие балки, является плита. Плита нагружена поперечной нагрузкой и должна быть достаточно жесткой: толщина ее принимается обычно в пределах от 20 до 30мм. Опорой плиты служат стенки и полки сечения стержня колонны. Простейшей конструкция оголовка будет в том случае, если проекции передающих и принимающих нагрузку элементов совпадают. В противном случае во избежание изгиба плиты под передающими элементами к плите оголовка привариваются усиливающие ребра. Конструкцию оголовка удобно проектировать, наложив на план сечения стержня колонны расположение элементов балок, передающих нагрузку на плиту ( опорных диафрагм или ребер жесткости).

На рисунке 5 показан вариант оголовка двутавровой колонны, на которую опираются балки с помощью опорных диафрагм. Диафрагмы балок передают нагрузку на плиту оголовка. В месте опирания диафрагм снизу плита подкреплена вертикальными ребрами (1), приваренными к плите и стенке двутавра. Снизу вертикальные ребра подкреплены горизонтальными (2), через которые усилия распределяются на более мощные пояса двутавра.

На рисунке 6 приведен вариант оголовка сквозной колонны с ветвями из двух швеллеров. Здесь вертикальная диафрагма (1) приварена к стенкам ветвей колонны и передает усилие на ветви через фланговые угловые швы. Чтобы предотвратить искривление стенок швеллеров к диафрагме снизу приварено горизонтальное ребро (2). Все принимающие нагрузку элементы должны быть проверены на смятие

$$\frac{N}{t \cdot l_{ef}} \leq R_p \cdot \gamma_c, \quad (43)$$

где  $N$  – нагрузка, приходящаяся на контактирующий с плитой элемент,

$t$  – толщина элемента,

$l_{ef}$  – длина участка, принимающего нагрузку

$$l_{ef} = b + 2t_p, \quad (44)$$

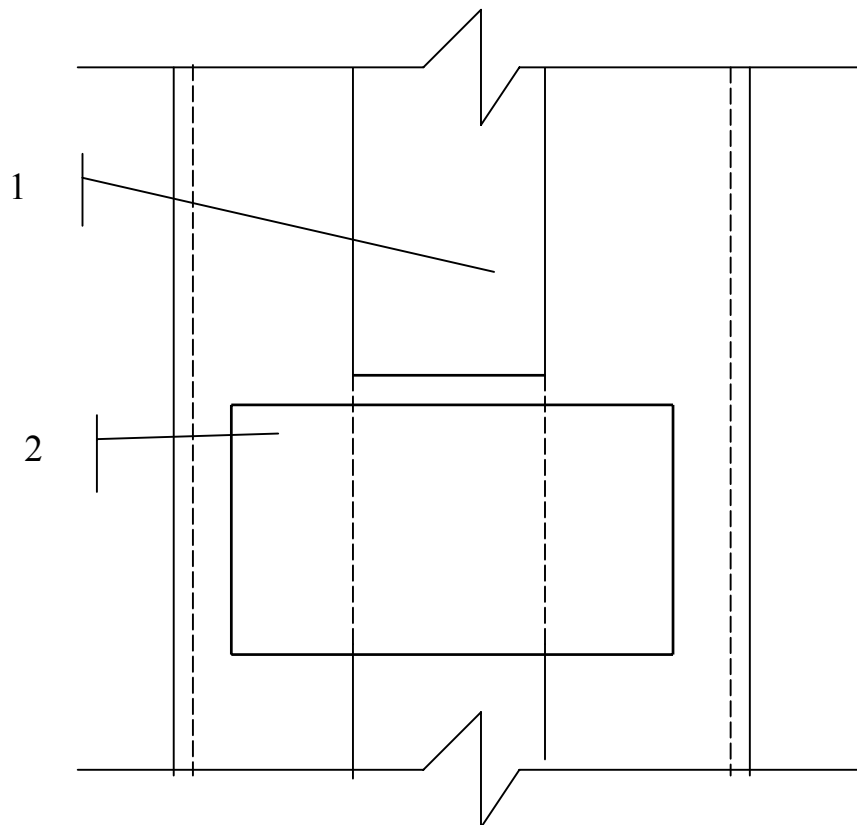
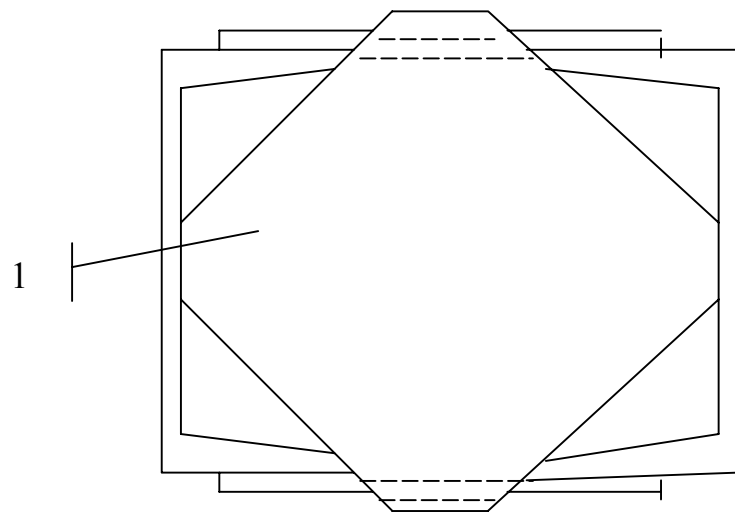
$b$  – ширина опорной диафрагмы опирающейся на колонну конструкции,

$t_p$  – толщина плиты оголовка,

$R_p$  – расчетное сопротивление смятию.

Если условие не выполняется, нужно увеличить толщину ребра, либо (если усилие воспринимается стенкой профиля) стенка усиливается приваркой накладки или более толстой вставкой из листовой стали.





1 – диафрагма, 2 – планка.

Рисунок 4 – Диафрагма в сквозной колонне на планках

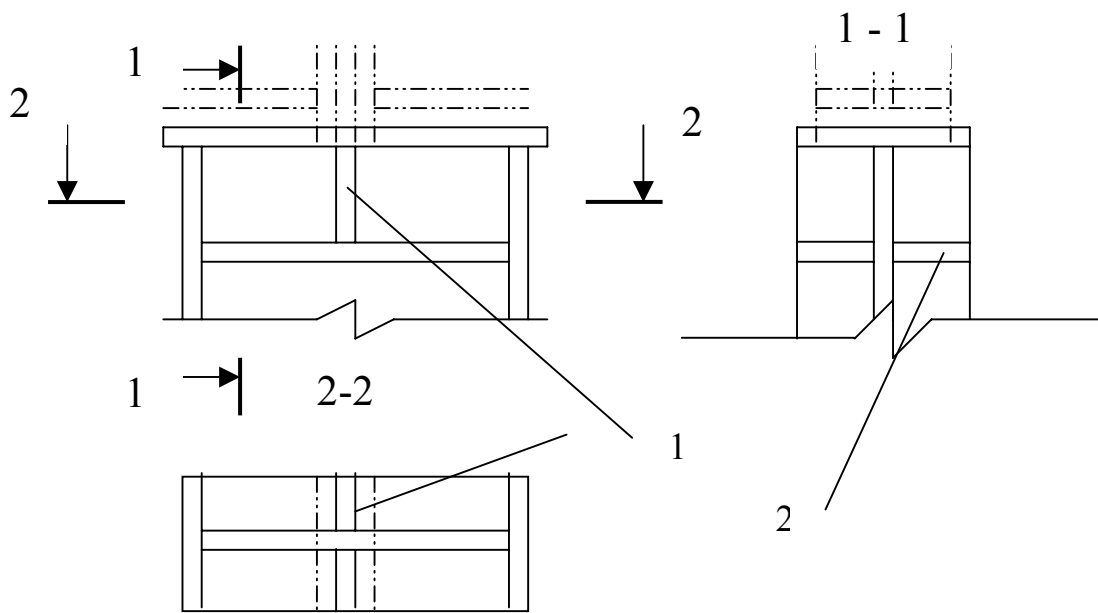


Рисунок 5 – Оголовок колонны двутаврового сечения

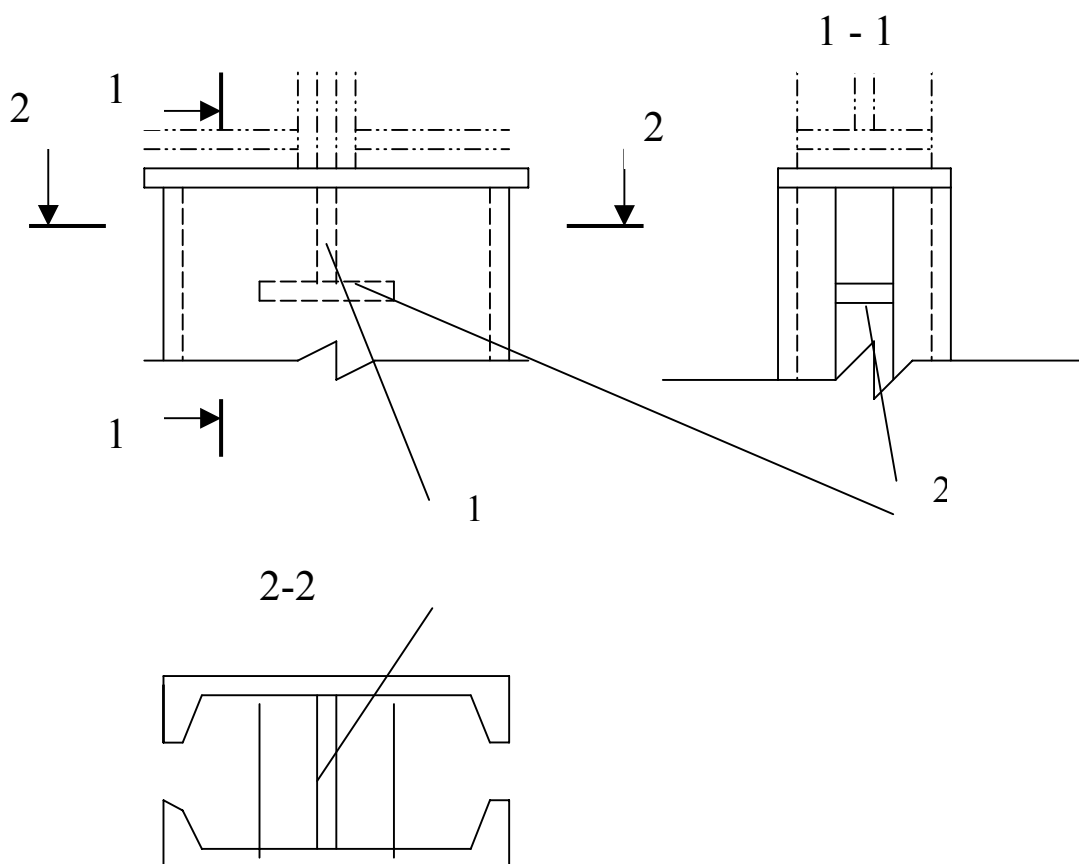


Рисунок 6 – Оголовок сквозной колонны

Высота ребер и диафрагм определяется из условия сопротивления срезу сварных швов, крепящих их к стержню колонн,

$$h_p = \frac{N}{nk_f(\beta \cdot R \cdot \gamma)_{w \min} \gamma_c} + 10 \text{ мм}, \quad (45)$$

где  $N$  – нагрузка, действующая на ребро,

$n$  – количество швов, воспринимающих нагрузку,

$k_f$  – катет сварного шва,

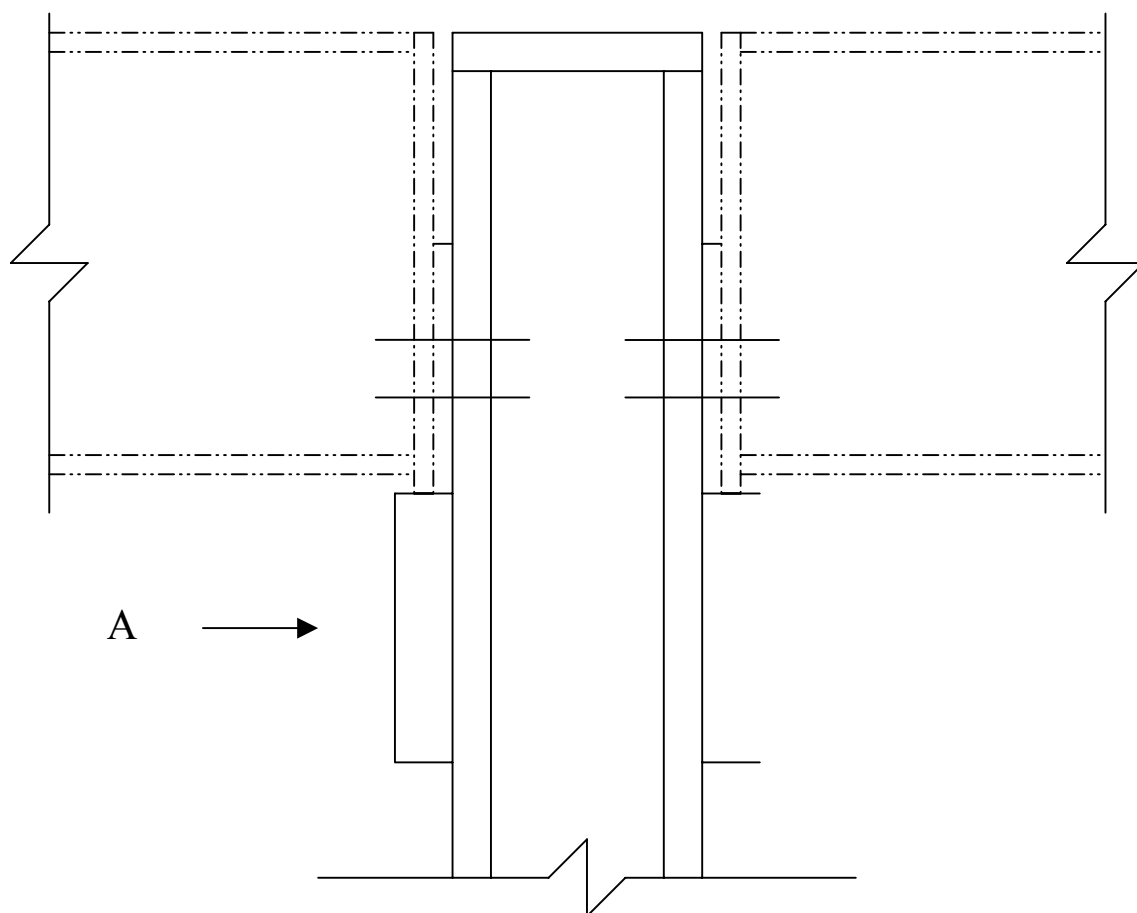
$(\beta R \gamma)_{w \min}$  – расчетное сопротивление шва с учетом коэффициентов.

Следует помнить, что фланговые швы имеют согласно /4, раздел 12/ ограниченную рабочую длину. С другой стороны высота конструкции оголовка для обеспечения равномерности распределения усилий в элементах стержня колонны должна быть не менее 0,6 ширины стержня и не менее 200 мм.

При примыкании балок сбоку необходимо приварить к колонне опорный столик. Толщина опорного столика должна быть больше толщины опорного элемента опирающейся конструкции на величину от 20 до 40 мм. Высота опорного столика определяется исходя из требуемой длины фланговых сварных швов аналогично высоте ребер оголовка. Опорный столик приваривается по трем сторонам, кроме верхней. Верхняя грань фрезеруется для обеспечения равномерности передачи нагрузки на колонну. Сварные швы рассчитываются на срез от действия опорной реакции балки, увеличенной в 1,3 раза. Это увеличение учитывает возможную неравномерность распределения нагрузок на фланговые швы из-за неточности изготовления опорной диафрагмы опирающейся конструкции и опорного столика. Тонкие стенки стержня колонны укрепляются дополнительно ребрами жесткости в уровне столика. Пример опорного столика показан на рисунке 7.

## 9 Базы колонн

База центрально-сжатой колонны может представлять собой плоскую толстую, с простроганной верхней гранью, плиту, к которой непосредственно приваривается фрезерованный торец стержня колонны (обработка соприкасающихся поверхностей производится с целью обеспечения равномерности передачи нагрузки), либо плиту с траверсой – вертикальными листовыми элементами, выступающими в роли элементов, соединяющих стержень колонны с плитой.



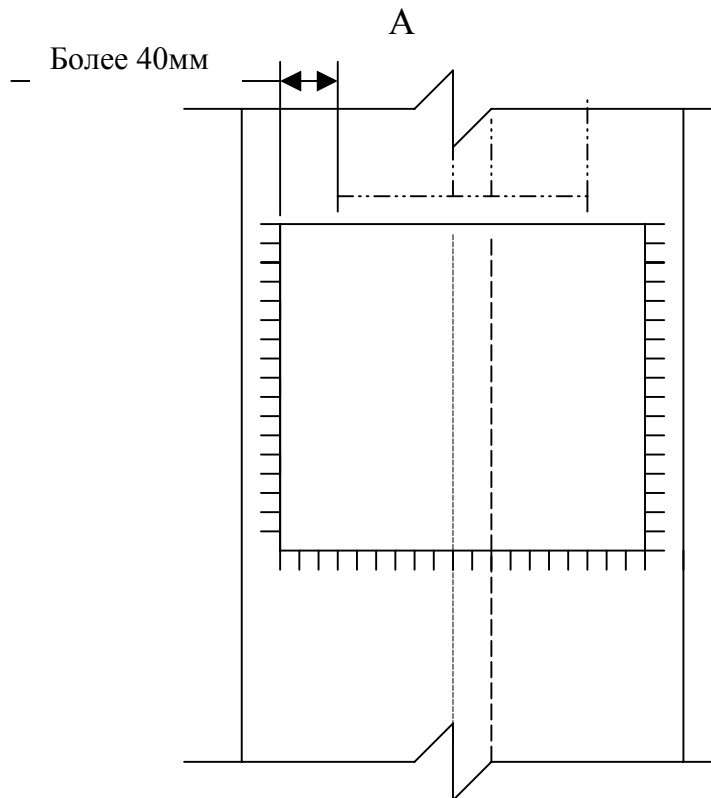


Рисунок 7 – Опорный столик

### 9.1 Определение размеров плиты в плане

Площадь плиты определяется из условия отсутствия смятия бетона фундамента, на который передает нагрузку плита базы

$$A_{nl} \geq \frac{N}{R_{b,loc}}, \quad (46)$$

где  $N$ - расчетное усилие в стержне колонны,

$R_{b,loc}$ - расчетное сопротивление бетона фундамента смятию.

Величина  $R_{b,loc}$ , в свою очередь, зависит от площади, через которую передается усилие на бетон.

$$R_{pb} = R_b (A_\phi / A_{nl})^{1/3}, \quad (47)$$

где  $R_b$  – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию.

Соотношение площадей верхнего среза фундамента  $A_\phi$  и плиты можно предварительно принять равным 1,4. Расчетные сопротивления сжатию бетона разных классов приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Расчетные сопротивления осевому сжатию бетона

Класс Бетона	7,5	10	12,5	15	20	25	30	35	40
$R_b$ , МПа	4,5	6,0	7,5	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0

Площадь опорной плиты базы согласовывают с размерами стержня колонны: кромки опорной плиты должны выходить за габариты стержня колонны, чтобы обеспечить приварку стержня или траверсы. При фрезерованном торце колонны плиту желательно делать квадратной.

После определения размеров плиты назначают размеры фундамента с учетом расположения анкерных болтов. При шарнирном опирании колонны на фундамент достаточно двух анкерных болтов, установленных вдоль одной оси симметрии базы. Назначив размеры плиты и фундамента, нужно уточнить расчетное сопротивление бетона смятию по формуле (47), вычислить действительные значения напряжений под плитой  $\sigma_\phi$  и проверить выполнение условия прочности

$$\sigma_\phi = \frac{N}{A} \leq R_{pb}. \quad (48)$$

Если условие прочности выполняется, то можно перейти к определению толщины плиты, в противном случае следует вернуться к назначению размеров плиты, увеличив ее площадь.

## 9.2 Определение толщины плиты базы колонны с фрезерованным торцом

Плита находится в сложном напряженном состоянии и расчет её представляет значительные трудности. Поэтому обычно используется упрощенная расчетная схема. Принимается, что плита нагружена равномерной нагрузкой, действующей со стороны фундамента. Интенсивность этой нагрузки равна  $\sigma_\phi$ . Рассматривается напряженное состояние консольного трапециевидного участка плиты, заземленного торцом стержня колонны (рисунок 8).

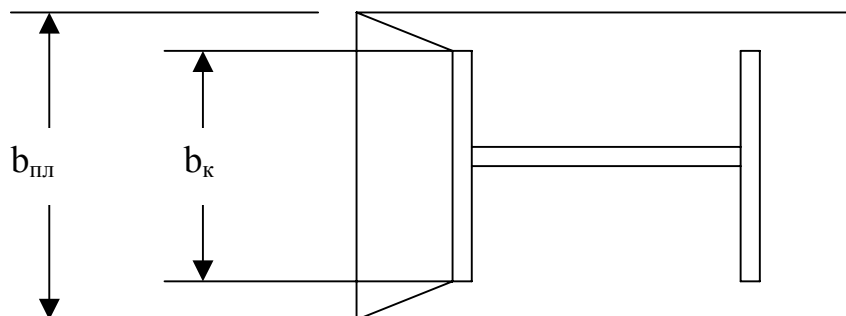


Рисунок 8 – Схема к определению толщины плиты базы колонны с фрезерованным торцом

Изгибающий момент в заземлении

$$M = \sigma_{\phi} A_{\text{трап}} C, \quad (49)$$

где  $A_{\text{трап}}$  – площадь трапеции,

$C$  – расстояние от заземления до центра тяжести трапеции

$$C = \frac{(2b_{\text{пл}} + b_{\text{к}})(b_{\text{пл}} - b_{\text{к}})}{6(b_{\text{пл}} + b_{\text{к}})}, \quad (50)$$

$b_{\text{пл}}$  – ширина плиты,

$b_{\text{к}}$  - ширина стержня колонны.

Толщина плиты определяется по формуле:

$$t_{\text{пл}} = \sqrt{\frac{6M}{b_{\text{к}} R_y \gamma_c}}, \quad (51)$$

где  $\gamma_c$  - коэффициент условия работы, который предварительно следует принять равным 1,1 и уточнить, если толщина плиты окажется меньшей, чем 60 мм.

### 9.3 Определение толщины плиты базы с траверсой

Траверса увеличивает площадь передачи усилия со стержня колонны на плиту и уменьшает размеры участков, подвергающихся изгибу. Каждый из таких участков может быть рассмотрен как пластинка, опертая по краям.

Максимальные моменты на участках единичной ширины определяются по формуле

$$M = \sigma_{\phi} \cdot \alpha \cdot d^2, \quad (52)$$

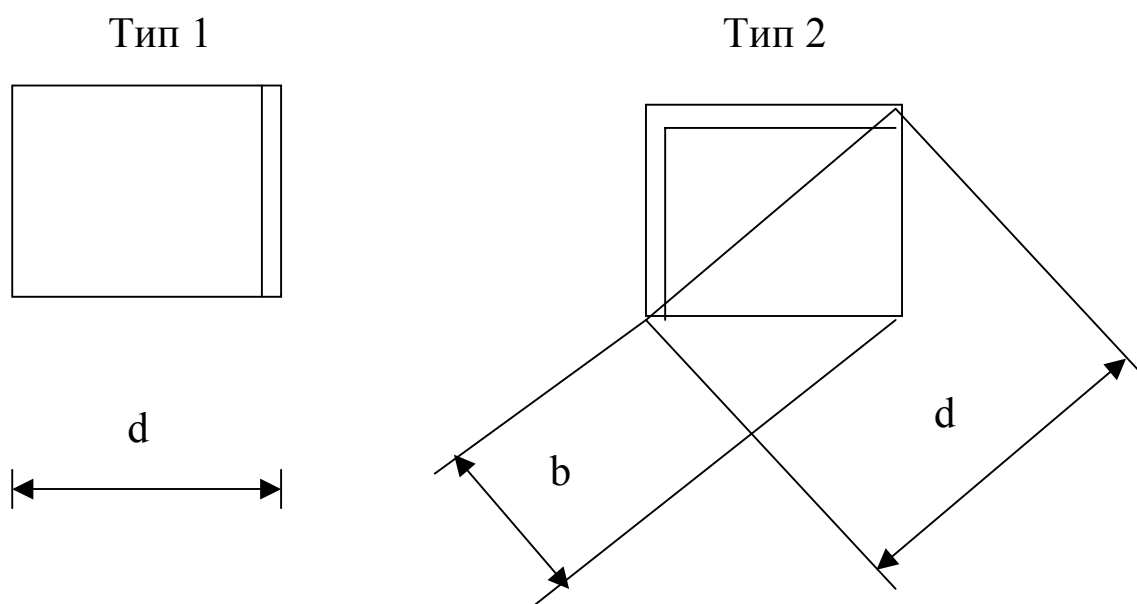
где  $d$ - характерный размер участка, определенный в зависимости от количества опорных сторон (кантов),

$\alpha$  - коэффициент, зависящий от соотношения сторон участков.

Принадлежность участка плиты к тому или иному типу можно определить с помощью рисунка 9, на котором показаны четыре возможных типа участков: 1- консольный (опирание по одному канту), 2- опирание по двум кантам, 3- по трем и 4- по четырем кантам. Коэффициент  $\alpha$  для участков второго, третьего и четвертого типов определяется по таблице 3, а для участка первого типа величина  $\alpha = 0,5$ . Толщина плиты определяется по формуле

$$t = \sqrt{\frac{6M_{\max}}{R_y \gamma_c}}, \quad (53)$$

где  $M_{\max}$  – наибольший изгибающий момент для участков плиты базы. Заметим, что  $M_{\max}$  – изгибающий момент, приходящийся на полосу единичной длины, и поэтому имеет размерность силы. Толщина плиты обычно составляет от 20 до 50 мм.





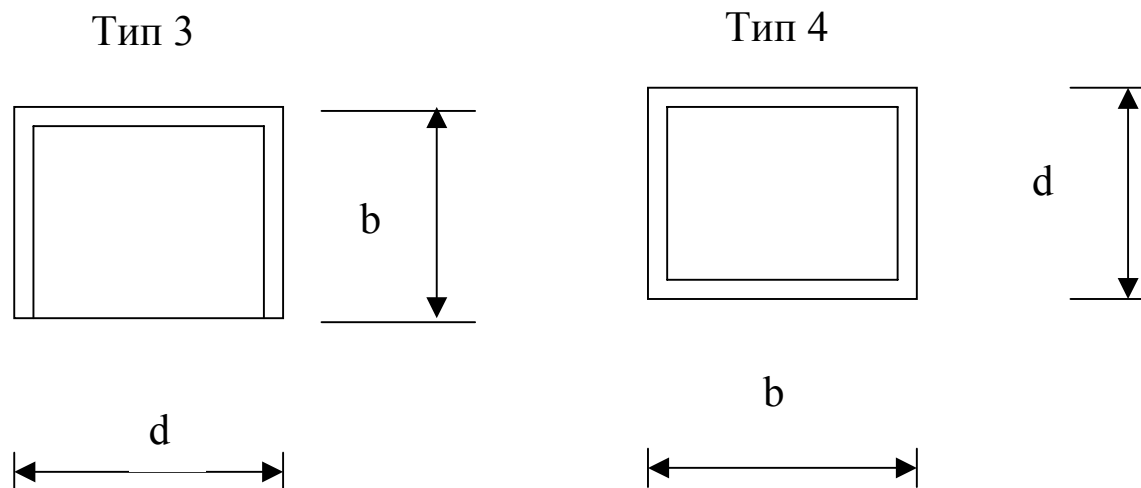


Рисунок 8 – К определению толщины плиты базы колонны с траверсой

Таблица 3 – Коэффициенты  $\alpha$  для определения изгибающих моментов в плите базы колонны с траверсой

$b/d$	$\alpha$ для участков типа 2 и 3	$\alpha$ для участков типа 4
0,5	0,060	-
0,6	0,074	-
0,7	0,088	-
0,8	0,097	-
0,9	0,107	-
1,0	0,112	0,048
1,2	0,120	0,063
1,3	0,123	0,069
1,4	0,126	0,075
1,5	0,128	0,081
1,6	0,129	0,086
1,7	0,130	0,091
1,8	0,131	0,094
1,9	0,132	0,098
2	0,133	0,125

#### 9.4 Определение высоты траверсы

Высота траверсы  $h_{tr}$  определяется из условия размещения сварных швов, прикрепляющих траверсу к стержню колонны

$$h_{tr} \geq \frac{N}{n \cdot k_f (\beta \cdot \gamma \cdot R)_{\min}} + 10 \text{ мм}, \quad (54)$$

где  $k_f$  - катет шва, который назначается предварительно конструктивно в зависимости от толщины соединяемых элементов,

$n$  - количество швов крепления (обычно четыре шва).

Следует иметь в виду, что швы крепления траверсы являются фланговыми, поэтому их длина не должна быть больше  $85 k_f \beta$ . Высота траверсы из условия равномерности передачи нагрузки должна быть не менее 200 мм и не менее 0,6 ширины стержня колонны в плоскости, параллельной плоскости траверсы. Швы крепления траверсы к опорной плите проверяются на срез от действия продольной силы  $N$ . В расчет принимается суммарная длина швов, прикрепляющих траверсу к плите за вычетом концевых участков длиной 10 мм каждого шва

$$N \leq k_f \sum l_w (\beta \cdot \gamma \cdot R)_{\min} \quad (55)$$

Аналогично проверяется прикрепление к плите стержня колонны с фрезерованным торцом.

## Список использованных источников

1. Металлические конструкции [Текст] : в 3 т. / В.В.Горев [и др.] Т.1: Элементы стальных конструкций - М.: Высш.шк, 1997. – 527 с.
2. Металлические конструкции [Текст]: / Е.И.Беленя [и др.] - М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.
3. СНиП 2.01.07-85 . Нагрузки и воздействия [Текст] - М.: ГУП ЦПП, 2003. – 44 с.
4. СНиП II-23.81. Нормы проектирования . Стальные конструкции [Текст]. М. : ГУП ЦПП, 2002. – 90 с.
5. Конструирование и расчет стальных центрально-сжатых колонн [Текст]: метод.указ. к выполнению курсовой расчетно-графической работы / составитель С.В.Миронов. - Оренбург, 1987. – 39 с.