

КОЛОННЫ

- ▶ Колонны служат для передачи нагрузки от вышележащих конструкций через фундаменты на грунт. Верхняя часть колонны, на который опираются вышележащие конструкции, называется оголовком. Основную часть колонны, передающая нагрузку сверху вниз, называется стержнем. Нижняя часть колонны, передающая нагрузку от стержня на фундамент называется базой или башмаком. Если продольная сила, приложена по центру тяжести сечения стержня, то она называется *центрально сжатой*.
- ▶ Если продольная сила не совпадает с центром тяжести сечения или к стержню приложены какие-либо поперечные нагрузки, то кроме сжатия возникает изгиб, и колонна называется *внецентренно сжатой*.



Центрально-сжатые колонны

Бывают *сплошные* и *сквозные*. Сплошные колонны применяют при больших нагрузках и небольших высотах; *сквозные*, наоборот, при меньших нагрузках и больших высотах.



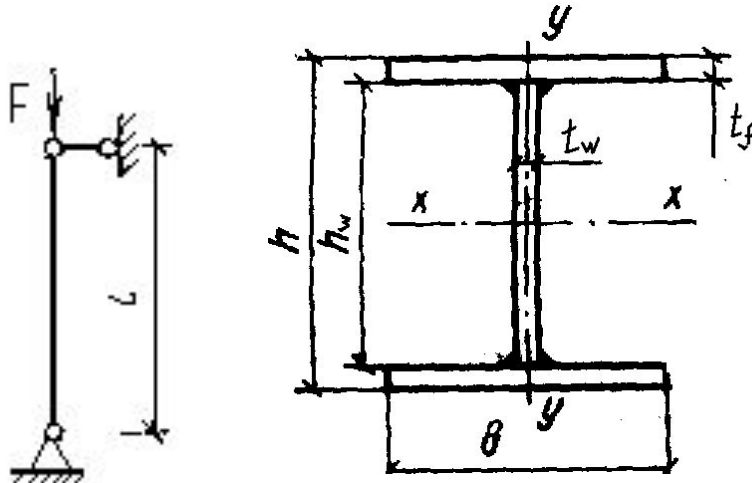
Наиболее простая колонна получается из прокатного двутавра , однако вследствие относительно небольшой боковой жесткости такая колонна рациональна в тех случаях, когда в плоскости меньшей жесткости есть дополнительные раскрепления (связи). Наиболее распространены составные двутавровые сечения (б, в), они жестки в обоих направлениях и достаточно просты в изготовлении. По затрате металла наиболее экономичны колонны трубчатого сечения. В последнее время нашли применение колонны из широкополочных двутавров. Это сечение обладает достаточно большой жесткостью как в плоскости, так из плоскости стенки и является весьма экономичным. Другие применяются редко.

Проводится в такой последовательности:

- 1-Расчет стержня
- 2-Расчет базы
- 3-Расчет оголовка

Расчет стержня колонны

1. Подсчитывается нагрузка на колонну (сила F).



2. Определяется расчетная длина в обоих направлениях.

$$\ell_x = \ell_y = \ell_e = \mu \ell$$

Где μ - коэффициент расчетной длины,
 ℓ - геометрическая длина колонны.

3. Ориентировочное определение требуемой площади сечения стержня колонны.

$$A = \frac{F}{\varphi_0 \cdot R_y} = \frac{F}{(0,7 \div 0,9) \cdot R_y} = \frac{F}{0,8 \cdot R_y}$$

где $\varphi_0 = (0,7 \div 0,9)$ - ориентировочное значение коэффициента

4. Определения габаритов сечения b и h.

$$h = \frac{i_x}{\delta_x} \quad b = \frac{i_y}{\delta_y}$$

Где δ_x, δ_y - коэффициенты, определенные по таблицам.

$$i_x = \frac{\ell_{ef}}{\lambda_0}, i_y = \frac{\ell_{ef}}{\lambda_0} \quad i_x = i_y, \lambda_0 - \text{по принятому } \varphi_0 \text{ из таблиц.}$$

5. Подбор толщины стенки и поясов.

Общая площадь сечения распределяется между поясами и стенкой так, чтобы около 80 % приходилось на долю поясов. $A_f \approx 0,8A$

Тогда толщина стенки $t_w = \frac{A_w}{h_w} \approx \frac{0,2A}{h}$

Требуемая толщина одного пояса $t_f = \frac{A_f}{2b} \approx \frac{0,8A}{2b} \approx \frac{0,4A}{b}$

С учетом толщины проката округляют значения t_w и t_f

Скомпоновав сечение, т.е. назначив размеры t_w, t_f, h, h_w, b , производят проверку подобранного сечения.

6. Определяются фактические геометрические характеристики.

$$A, y_k, y_y, i_x, i_y, \lambda_x, \lambda_y,$$

По наибольшей гибкости $\lambda_{\max}$ (которая не должна превышать предельного значения $\lambda_u = 120$) по таблицам определяют значение ϕ .

7. Затем проверяют общую устойчивость стержня колонны.

$$\sigma = \frac{F}{\phi \cdot A} \leq R_y \gamma_c$$

При недонапряжении более чем на 5 % производят корректировку принятого сечения. Кроме того, проверяется местная устойчивость стенки и поясов.

8. Местная устойчивость стенки обеспечена если:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \sqrt{\frac{E}{R_y}}$$

при условной гибкости стержня колонны

$$\lambda = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} \leq 0,8 \frac{h_w}{t_w} \leq (0,36 + 0,8\lambda) \sqrt{\frac{E}{R_y}} \leq 2,9 \sqrt{\frac{E}{R_y}}$$

при условной гибкости стержня колонны

$$\lambda = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} > 0,8$$

9. Местная устойчивость пояса обеспечена если:

$$\frac{b_{ef}}{t_f} = \frac{b}{t_f} \leq (0,36 + 0,1\lambda) \sqrt{\frac{E}{R_y}}$$

Практически сечения стержней сплошных колонн подбирают следующим образом:

1) Определяют ориентировочно требуемую площадь сечения см^2 , для чего задаются приближенным значением коэффициента продольного изгиба

φ (0,7 ÷ 0,9);

$$A = \frac{F}{\varphi R_y} = \frac{F}{(0.7 \div 0.9) R_y}$$

2. Определяют ориентировочно высоту сечения колонны h , которая не должна быть менее $1/15$ - $1/20$ высоты колонны. Генеральные размеры сечения h и b можно также находить исходя из предельной гибкости λ_u

$$h \geq \frac{l_x}{\alpha_x \lambda_u} \text{ и } b \geq \frac{l_y}{\alpha_y \lambda_u},$$

где α_x и α_y - определяют по таблицам.

Обычно колонны проектируют с гибкостью 60-80 (меньше предельной λ_u), поэтому при определении генеральных размеров сечения вместо λ_u , подставляют значения 60—80.

$$h \geq \frac{l_x}{\alpha_x (60 \div 80)} \quad \text{и} \quad b \geq \frac{l_y}{\alpha_y (60 \div 80)}$$

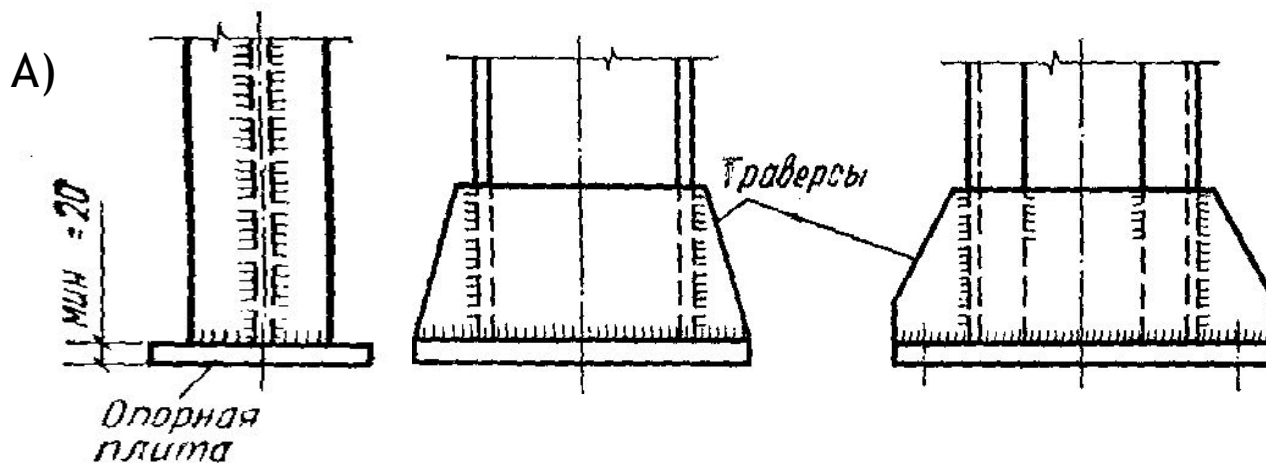
3. По требуемой площади A и высоте сечения h колонны, с учетом сортамента стали, komponуют сечение стержня колонны.

В сварном двутавре толщину стенки принимают обычно $b \leq h$ 6-14 мм, а толщину поясов 8-40 мм (сечение экономичнее, когда больше металла сосредоточено в поясах, поэтому стенка должна быть как можно тоньше). Обычно ширину пояса обычно не делают больше высоты сечения. при компоновке сечения поясов и стенки, для обеспечения их местной устойчивости.

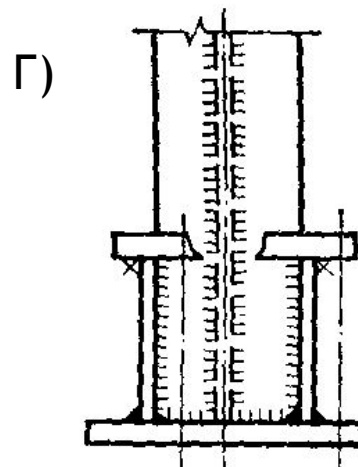
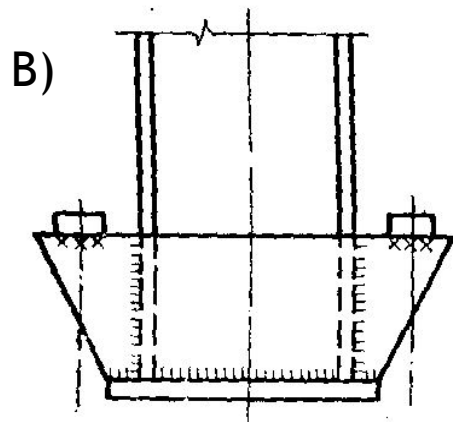
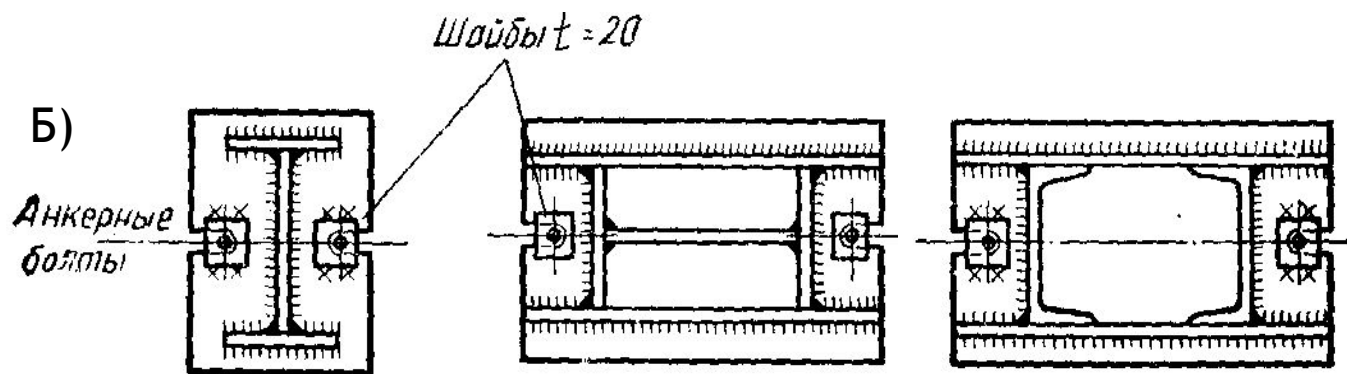
4. Вычисляют геометрические характеристики сечения колонны и проверяют ее прочность, устойчивость и гибкость (λ не должна превышать λ_u). Если сечение, оказалось, по каким-либо показателям неудовлетворительным, его корректируют.

Конструирование базы центрально сжатой колонны

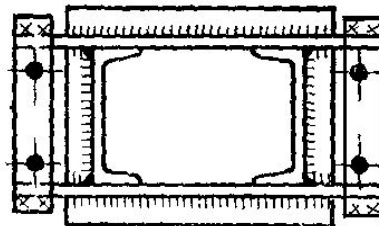
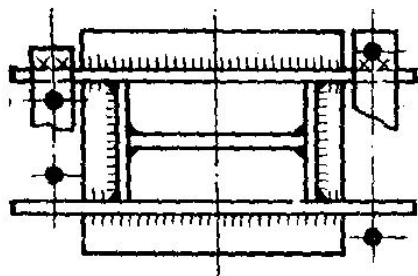
База (башмак) колонны служит для распределения сосредоточенного давления от стержня колонны равномерно по площади опирания на фундамент и обеспечивает закрепление нижнего конца колонны в соответствии с принятой расчетной схемой.



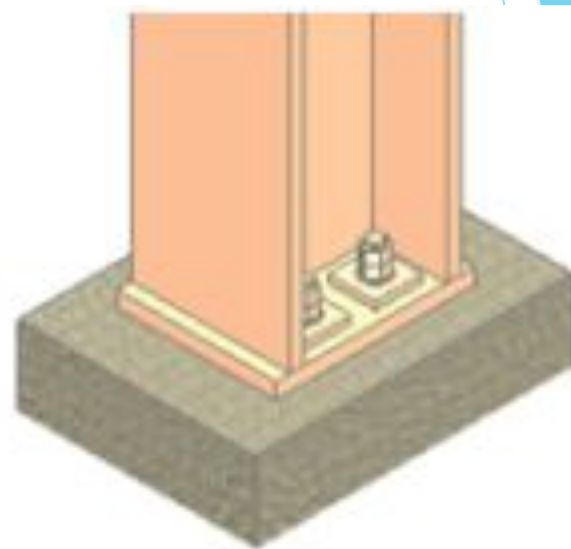
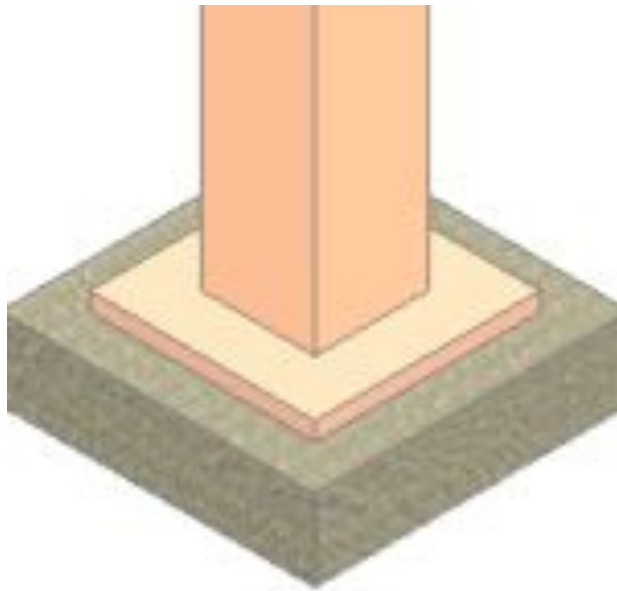
А,Б- Базы центрально-сжатых колонн шарнирные



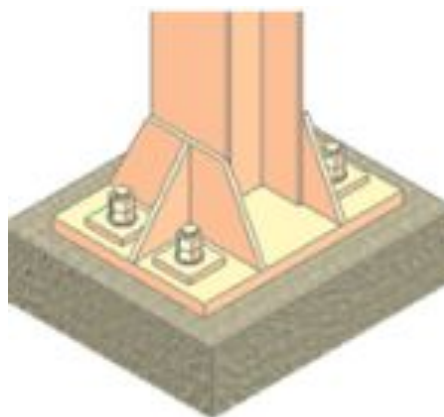
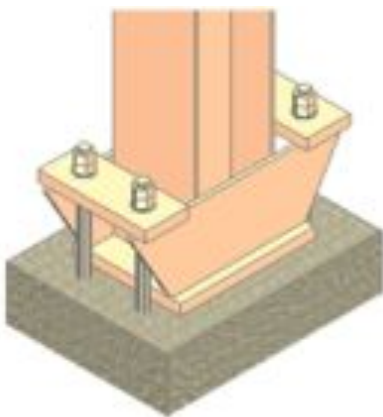
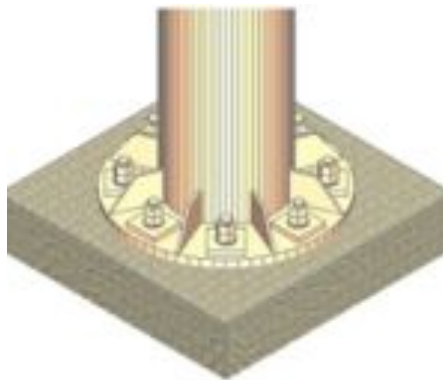
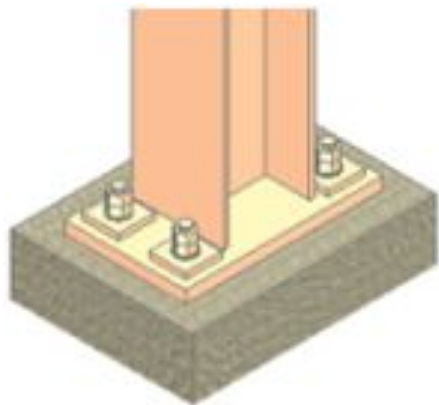
В, Г - Базы центрально-сжатых колонн жесткие



Базы центрально-сжатых колонн могут быть шарнирные и жесткие. Шарнирные базы имеют наиболее простую конструкцию. Особенностью их является крепление анкерными болтами непосредственно за опорную плиту; анкерных болтов, как правило, два (иногда четыре). В сильно нагруженных колоннах для равномерной передачи давления на опорную плиту устанавливают траверсы и ребра.



Жесткие базы имеют не менее четырех анкерных болтов, которые крепятся к траверсам. Благодаря, этому после затяжки болтов исключается поворот колонны на опоре.

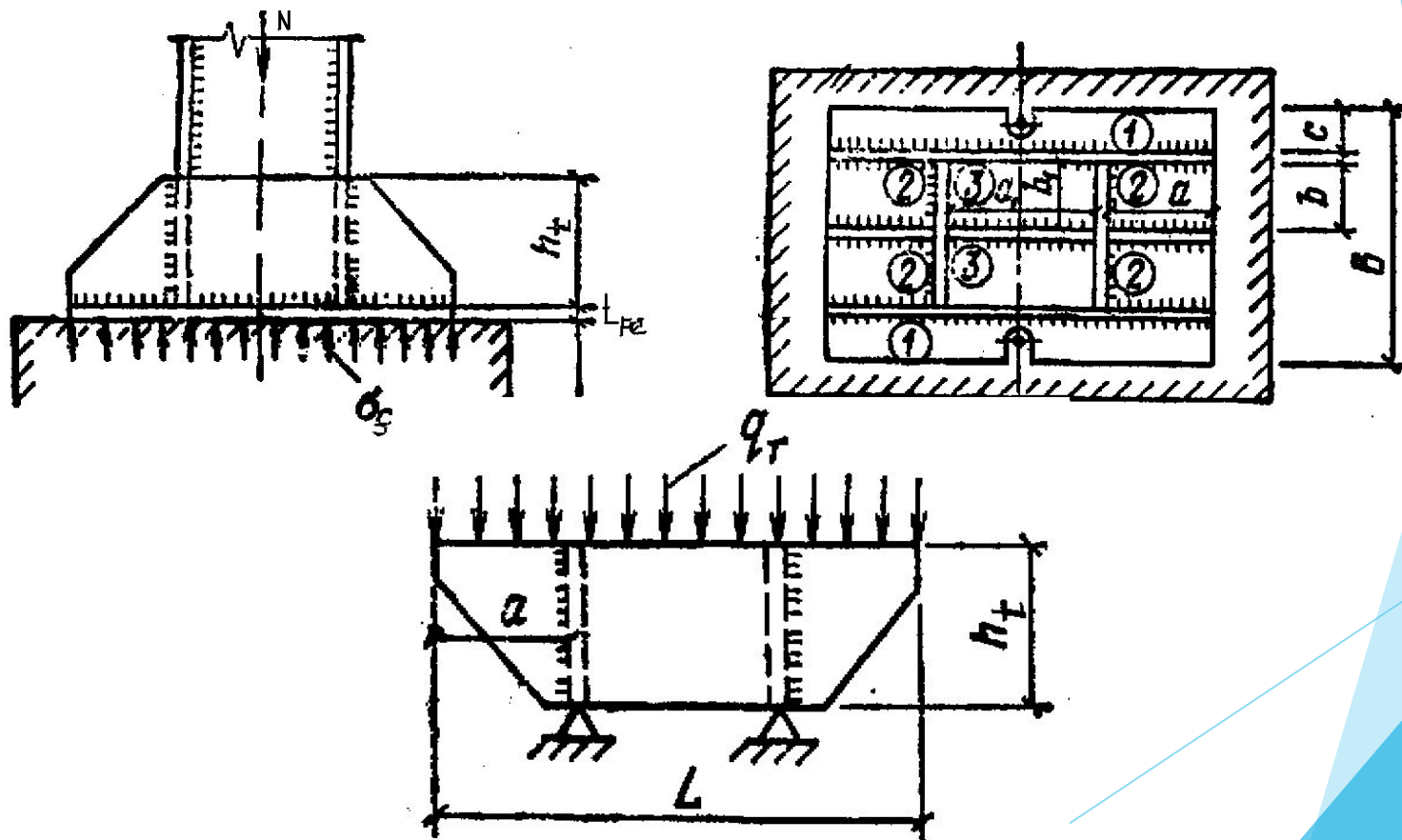


Толщину опорной плиты определяют расчетом, не принимают менее 20 мм. Диаметр анкерных болтов принимают конструктивно: для шарнирных баз $d=20-30$ мм, для жестких баз $d = 24-36$ мм и более.

Для удобства монтажа и возможности некоторой рихтовки при установке анкерные болты заводят в специальные проушины, ширина которых на 10-30 мм больше диаметра болта, или пропускают между траверсами. После этого на болты надеваются шайбы толщиной 20-30 мм с отверстием, на 3 мм большим, чем диаметр болта, или анкерные плитки толщиной 30-40 мм заворачиваются гайки, а шайбы (плитки) привариваются монтажной сваркой к плите или траверсам. Опорная плита в легких колоннах обычно приваривается к траверсам и стержню колонны.

В мощных колоннах применяют базы с фрезерованным торцом колоны.

Фрезерованный конец колоны устанавливается на фрезерованную поверхность опорной плиты толщиной 40-50 мм и приваривают для фиксации. Обычно базы колонн устанавливаются на 500-1000 мм ниже отметки пола и обеспечивают для защиты от коррозии.



Расчет базы центрально-сжатой колонны

1) Находят требуемую площадь плиты

$$A_{pe} = \frac{F}{R_{cp}}$$

Где R_{cp} - расчетное сопротивление бетона;

R_c - призмочная прочность бетона;

A_{pe} - площадь опорной плиты;

A_ϕ - площадь поверхности фундамента.

Поскольку на стадии расчета базы отношение $\frac{A_\phi}{A_{pe}}$ обычно еще не известно, коэффициентом γ задается в пределах 1,2-1,5.

2) Определив, A_{pe} , устанавливают ширину плиты B , которая зависит от принятой конструкции башмака и условия размещения анкерных болтов. Чтобы плита не получилась слишком толстая, ее консольную часть (размер C) принимают не более 100-120 мм. $t_n = 10-16$ мм.

После этого находят длину плиты

$$L = \frac{A_{pe}}{B}$$

3) Толщину плиты определяют, исходя из условия ее работы на изгиб. Нагрузкой на плиту является равномерное отпорное давление фундамента

$$\sigma_f = \frac{F}{A_{\text{фактич}}} .$$

а ее опорами - траверсы, ребра базы и стержень колонны.

Вся площадь опорной плиты может быть расчленена на отдельные участки по условиям опирания: 1 - консольные; 2 - опертые по трем сторонам; 3 - опертые по четырем сторонам.

Изгибающий момент в плите на участке (1)

$$M_1 = \frac{\sigma_f \cdot c^2}{2}$$

Изгибающий момент в плите на участке (2)

$$M_2 = \alpha_1 \sigma_f b^2$$

Где α_1 - определяется по таблицам;

b - длина свободной стороны участка.

Изгибающий момент в плите на участке (3)

$$M_3 = \alpha \sigma_f b_1^2$$

Где α - определяется по таблицам;

b_1 - длина короткой стороны участка.

Толщину плиты определяют по наибольшему изгибающему моменту.

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_{pe}} = \frac{M_{\max}}{\frac{1t^2}{6}} = R_y, \quad \text{откуда}$$

$$t_{pe} = \sqrt{\frac{6M_{\max}}{R_y}}$$

4) Траверсу рассчитывают, как двухконсольную балку, нагруженную равномерно распределенной нагрузкой и опирающейся на полки колонны.

Изгибающий момент и поперечную силу консоли траверсы определяют по формулам:

$$M_{t_2} = \frac{q_{t_2} \cdot a^2}{2} \quad Q_{t_2} = q_{t_2} \cdot a$$

Проверка прочности траверсы на изгиб и срез по формулам

$$\sigma_{t_2} = \frac{W_{t_2}}{M_{t_2}} \leq R_y \gamma_c$$

$$\tau_{t_2} = \frac{Q_{t_2}}{t_{t_2} \cdot h_{t_2}} \leq R_s \gamma_c$$

где $W_{t_2} = \frac{t_{t_2} \cdot h_{t_2}^2}{6}$

Катет швов, прикрепляющих траверсу к полкам колонны, определяется по формуле

Катет швов, прикрепляющих траверсу к полкам колонны, определяется по формуле

$$K_f \geq \frac{q_{tp} \cdot L}{2 \cdot \beta_f \cdot h_{t_2} \cdot \gamma_{wf} R_{wf}}$$

5) Расчет швов, прикрепляющих элементы базы к плите.

При конструктивном решении базы с фрезеровкой торца все давление колонны на плиту передается непосредственным контактом соприкасающихся поверхностей, и швы, прикрепляющие элементы базы к плите, рассчитываются на условную силу, равную 15% общего давления F (для восприятия случайных моментов и поперечных сил):

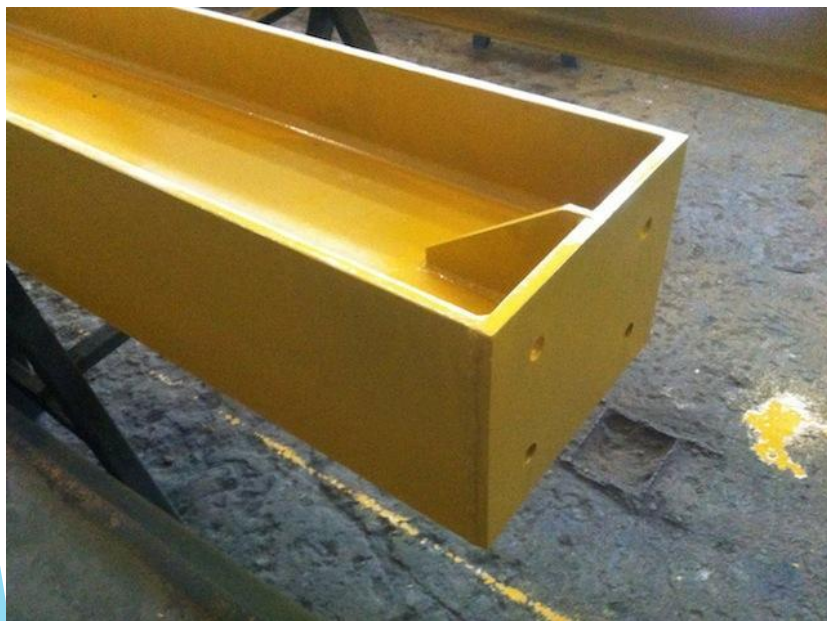
$$K_f \geq \frac{0.15F}{\sum \ell_{wf} \beta_f \cdot \gamma_{wf} R_{wf}}$$

Конструирование и расчет оголовка колонны

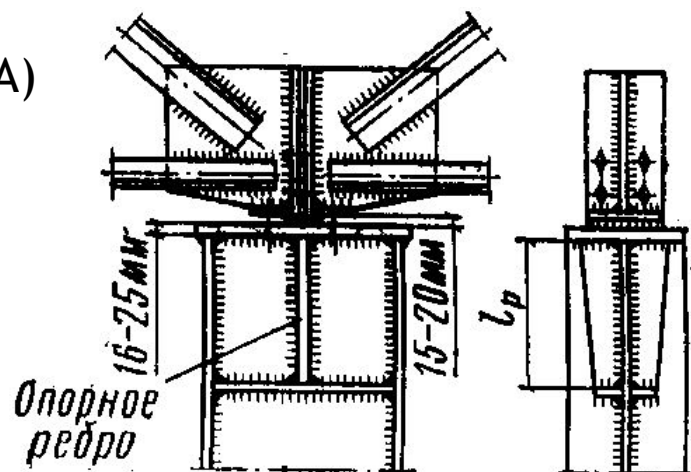
КОЛОННЫ

Оголовок колонны служит опорой для вышележащих конструкций (балок, ферм) и распределяет сосредоточенную нагрузку на колонну равномерно по сечению стержня.

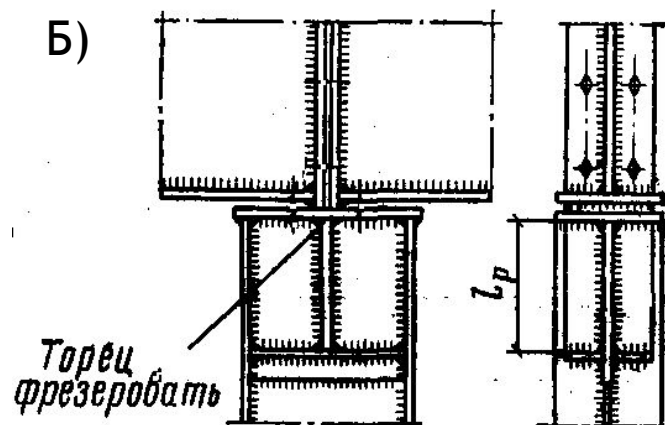
Сопряжение балок с колоннами может быть свободное и жесткое. Шарнирное сопряжение передает только вертикальные нагрузки (а, б, в, г, д). Жесткое сопряжение балок с колоннами образует рамную систему (е).



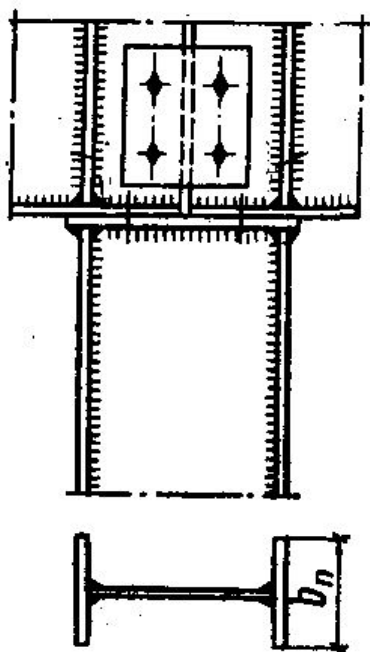
А)



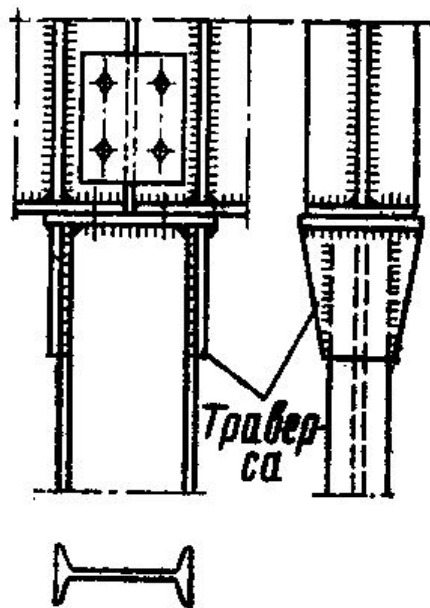
Б)



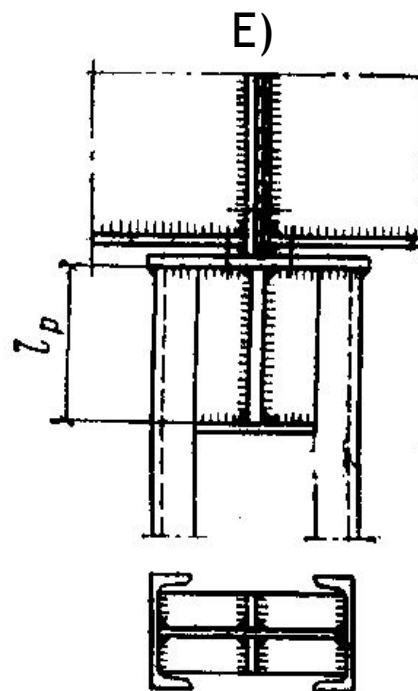
В)



Г)



Д)



Е)



При отпираания балок сверху опорный узел вышележащий конструкции имеет поперечное ребро с выступающим на 15-25 мм фрезерованным торцом, через который передается давление на колонну. Реже применяют конструкция узла, где опорное давление передается внутренним ребром балки, расположенным над полкой колонны. Если поперечное опорное ребро вышележащих балки имеет выступающий торец, то опорное давления передается сначала на опорную плиту оголовка колонны, затем на опорное ребро оголовка, с этого ребра - на стенку колонны или траверсу в сквозной колонне и далее равномерно распределяется по сечению колоны.

Опорная плита оголовка служит для передачи давления с торцов балки на опорные ребра оголовка, поэтому ее толщина определяется не расчетом, а конструктивными соображениями и принимается обычно 16-25мм. С опорной плиты давление передается на опорные ребра оголовка через горизонтальные сварные швы, прикрепляются торцы ребер к плите. Катет этих швов определяется по формуле

$$K_f \geq \frac{F}{\beta_f \cdot \sum \ell_{wf} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c}$$

При установке опорной плиты на фрезерованный торец стержня колоны обеспечивает полное прилегание плиты к ребру колонны, и опорное давления передается непосредственным контактом поверхностей, а сварные швы, прикрепляющие, опорную плиту принимаются конструктивно.

Ширина опорного ребра определяется из условия прочности на сжатие.

$$t_s \geq \frac{F}{2b_h \cdot R_p}$$

Кроме того должно соблюдаться условие, обеспечивающие местную устойчивость опорного ребра.

$$\frac{b_h}{t_s} \leq 0.5 \sqrt{\frac{E}{R_y}}$$

Низ опорных ребер оголовка укрепляется поперечными ребрами, препятствующими их скручиванию из плоскости колонны при неравномерном давлении торцов вышележащих балок, возникающие от неточности изготовления и монтажа.

С опорных ребер давление на стенку колонны передается через угловые швы. Исходя из этого требуется длина ребер.

$$\ell_s = \frac{F}{4K_f \beta_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c}$$

Расчетная длина швов при этом не должна превышать $85\beta_f K_f$

Ребра также проверяют на срез: $\tau = \frac{F}{A_z} = \frac{F}{2\ell_s \cdot t_w} \leq R_s \gamma_c$

где 2 - число срезов;

t_w - толщина стенки колонны или траверсы сквозной колонны.

При больших опорных давлениях напряжения среза в стенке превышают расчетное сопротивление. В этом случае увеличивают длину ребра или принимают более толстую стенку. Можно увеличить толщину стенки только в оголовке колонны. Это решение снижает расход металла, но менее технологично в изготовлении.

Дальнейшее распределение давления со стенки колонны, по всему сечению стержня сплошной колонны обеспечивается сплошными швами, соединяющие полки и стенку.

В сквозных колоннах давление с траверсы передается на ветви колонны через угловые швы, катет которых должен быть не менее:

$$K_f \geq \frac{F}{4\beta_f l_s R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c}$$

Оголовок колонны с опорными ребрами балок, расположенными над полками колонны конструируется и рассчитывается аналогично предыдущему, только роль опорных ребер оголовка выполняют полки колонны. Если давление с плиты оголовка передается на колонну через сварные швы (торец колонны не фрезерованный), то катет сварных швов, прикрепляющих одну полку колонны к плите определяется из условия их среза реакцией одной балки:

$$K_f \geq \frac{F'}{2\beta_f b_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \gamma_c}$$

Где F' - опорная реакция одной балки, b_f - ширина полки колонны.

Если торец колонны фрезеруется, то сварные швы принимаются конструктивно с минимальным катетом. Чтобы обеспечить передачу опорного давления по всей ширине опорного ребра балки при большой ширине поясов балок и узких полках колонн, приходится проектировать уширенную траверсу. Условно принимается, что опорное давление с плиты передается сначала полностью на траверсу, а затем с траверсы на полку колонны, в соответствии с этим рассчитывают швы крепления траверсы к плите и колонне. При оперании конструкции на колонну сбоку вертикальная реакция передается через строганный торец опорного ребра балки на торец опорного столика и с него на полку колонны. Толщина опорного столика принимается на 5-10мм больше толщины опорного ребра балки. Если опорная реакция балки не превышает 200 кН, опорный столик делают из толстого уголка со срезано полкой, при большей величине реакции столик делают из листа со строганным верхним торцом.

Каждый из двух швов, прикрепляющих столик к колонне, рассчитывается на 2/3 опорной реакции, чем учитывается возможная непараллельность торцов балки и столика, вследствие неточности изготовления и в связи с этим неравномерная передача давления между торцами. Требуемую длину одного шва крепления столика определяют по формуле:

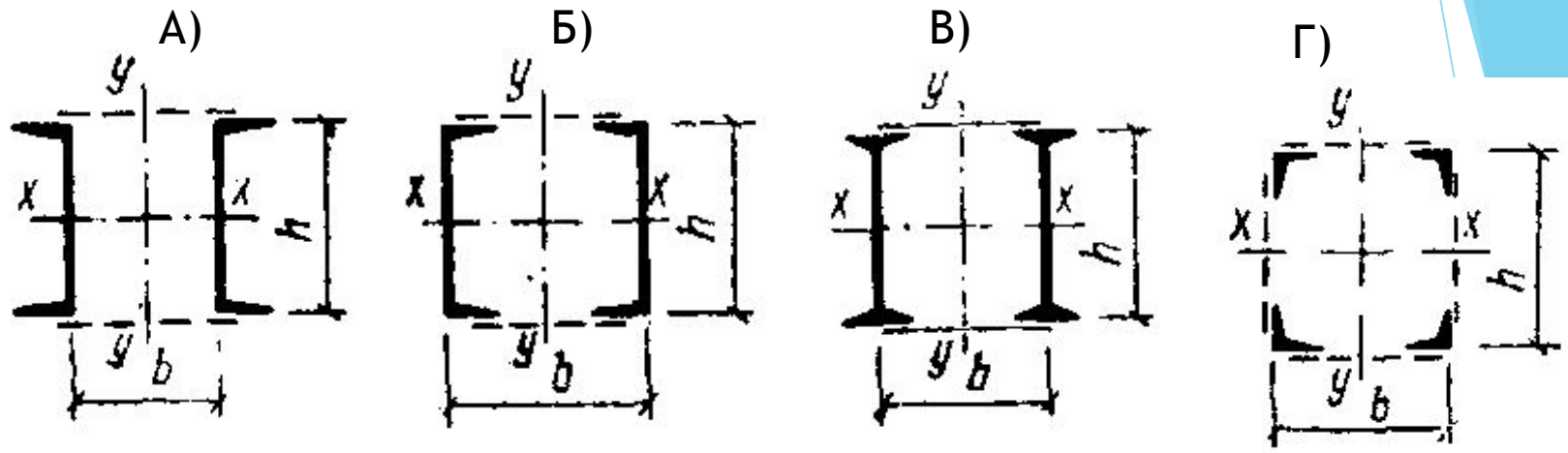
$$l_s \geq \frac{\frac{2}{3} F'}{\beta_f \cdot K_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \gamma_c}$$

Иногда столик приваривают не только по бакам, но и по нижнему торцу, в этом случае общую длину шва определяют по усилию, равному

$$\frac{2}{3} F' \cdot 2 = \frac{4}{3} F' = 1.3 F'$$

Сквозные колонны

Типы сечений и соединений ветвей сквозных колонн.



Ось X - материальная ось (пересекает материал),

Ось Y - свободная ось (не пересекает материал).

Наиболее распространены колонны с одной свободной осью (а, б), колонны с двумя свободными осями встречаются реже (г).

Расчет стержня сквозной колонны на продольный изгиб относительно материальной оси x производят аналогично расчету стержня сплошной колонны. При расчете относительно свободной оси y коэффициент продольного изгиба находят как функцию в зависимости от так называемой приведенной гибкости учитывающий податливость соединительной решетки. В этом принципиальное отличие расчета сквозного стержня от расчета сплошного.



Стержень сквозной колонны с планками в двух плоскостях

Приведенная гибкость определяется по формуле

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda^2}$$

где $\lambda_{\epsilon} = \frac{\ell_{\epsilon}}{i_{\epsilon}}$ - гибкость отдельной ветви, не более 40;
 ℓ_{ϵ} - расстояние между планками в свету;

$i_{\epsilon} = \sqrt{\frac{J_{\epsilon}}{A_{\epsilon}}}$ - радиус инерции сечения ветви относительно собственной центральной оси.

Соединительные планки рассчитывают на фиктивную поперечную силу, которая может возникнуть от искривления стержня при продольном изгибе.

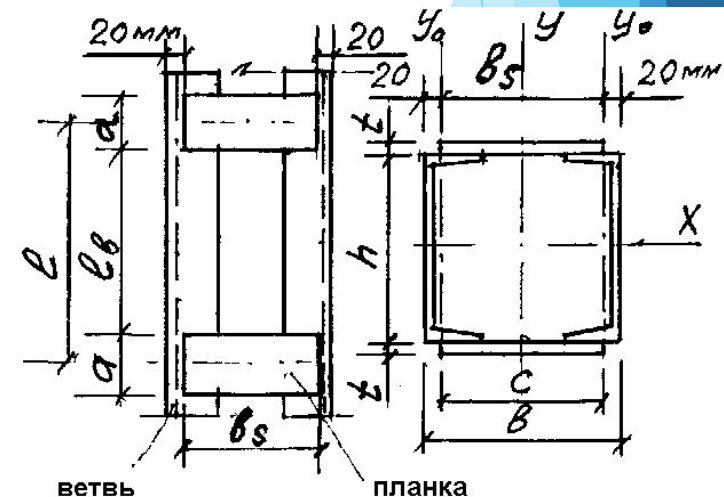
$$Q_{fic} = 7.15 \cdot 10^{-6} AE \beta \left(2330 \frac{R_y}{E} - 1 \right)$$

где $\beta = \frac{\varphi_{\min}}{\varphi}$, или $\frac{\sigma}{\varphi R_y}$ (принимают наименьшее из двух этих значений),

φ - коэффициент продольного изгиба стержня колонны в плоскости планок;

$\varphi_{\min}$ - меньший из коэффициентов продольного изгиба

$\sigma = \frac{N}{A}$ - напряжение сжатия в стержне



Поперечная сила и изгибающий момент в планке

$$F_s = \frac{Q_{fic} \cdot l}{C} \quad M_s = \frac{F_s \cdot C}{2}$$

Прочность планок проверяют по формуле

$$\sigma = \frac{M_s}{W_{x_0}} = \frac{M_s}{\frac{ta^2}{6}} \leq R_y \gamma_c$$

Ширину планок a принимают в пределах

$$a = (0.5 \div 0.75)$$

Толщину планок назначают в пределах

$$t = 6 \div 12 \text{ мм.}$$

Кроме того, во избежание выпучивания планок должны выдерживаться соотношения

$$\frac{a}{t} \leq 30$$

$$\frac{e_s}{t} \leq 50$$

Угловые швы крепления планок рассчитываются по формуле

$$\tau = \sqrt{\left[\frac{6M_s}{\beta_f \cdot K_f \cdot \ell_w^2} \right]^2 + \left[\frac{F_s}{\beta_f \cdot K_f \cdot \ell_w} \right]^2} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c$$

Стержень сквозной колонны с раскосами в двух плоскостях.

Приведенная гибкость определяется по формуле:

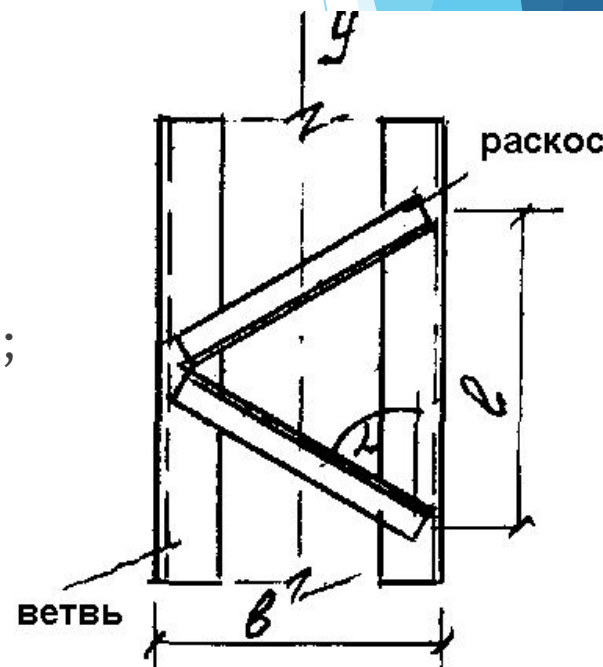
$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \alpha \frac{A}{A_d}}$$

где α - определяется по таблицам;

A - площадь сечения всего стержня;

A_d - площадь сечения раскосов в обеих плоскостях;

λ_y - гибкость всего стержня относительно оси y .



Проверку принятого раскоса на устойчивость, производя по формуле:

$$\sigma = \frac{N_d}{\phi A_d} \leq R_y \gamma_c$$

где ϕ - коэффициент продольного изгиба раскоса в зависимости от гибкости $\lambda = \frac{l_{пр}}{i}$; $N_d = \frac{Q_{fic}}{2 \sin \alpha}$

В раскосах следует применить уголок не менее 45 4.

Для предотвращения закручивания стержня сквозных колонн в них устанавливают жесткие поперечные диафрагмы из листа $t = 8 \text{ } 12 \text{ мм}$ не реже, чем через 4м.

Ширину сквозных колонн из условия равноустойчивости назначают так чтобы $\lambda_{ef} > \lambda_x$.

Расчет оголовка базы сквозных колонн такой же, как и в сплошных.