

**Тема: Сплошные и сквозные центрально-сжатые колонны.
Детали и узлы сварных колонн**

Задание для студентов

- 1 Ознакомиться с теоретическим материалом
- 2 Ознакомиться с видеоматериалом по ссылкам:

Общие сведения о расчете центрально сжатых стержней	https://www.youtube.com/watch?v=WL7QcBHKeZY&feature=emb_logo
Стальные сварные колонны из балки (двутавр)	https://www.youtube.com/watch?v=I7IXe3FYJIE&feature=emb_logo
Lira Sapг Расчёт колонны сквозного сечения.	https://www.youtube.com/watch?v=FPDqo5eNaUk&feature=emb_logo
Жёсткие опоры стальных колонн	https://www.youtube.com/watch?v=ERFNC6qC4lo&feature=emb_logo
Шарнирные опоры колонн	https://www.youtube.com/watch?v=X5Cz4Z-faao&feature=emb_logo
Узел крепления колонны к фундаменту	https://www.youtube.com/watch?v=IJ6r84LRh5o&feature=emb_logo

- 3 Составить конспект лекции (объем 2-3 страницы).
- 4 Изобразить типы сплошных сечений центрально сжатых колонн (рисунок 1)
- 5 Изобразить схему поперечного сечения сплошной колонны, для которой значение радиуса инерции максимально (на основании значений таблицы 3)
- 6 Изобразить типы сечений сквозных колонн (рисунок 3)
- 7 Составить таблицу определения продольной гибкости колонны

Сечение стержня колонны	Формула
с планками в двух плоскостях	
с решетками в двух плоскостях	
с решетками в четырех плоскостях	

- 8 Изобразить базу колонны при шарнирном и жестком сопряжении с фундаментом (рисунки 5 и 6)
- 9 Ответить на контрольные вопросы в **письменном** виде
- 10 Предоставить **конспект лекции и ответы** на контрольные вопросы в электронном виде на проверку в течение трех дней со дня выдачи задания.

С уважением, *Гнатюк Ирина Николаевна.*

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

Работы отправлять на электронную почту ira.gnatyuk.60@inbox.ru

ЛЕКЦИЯ

План

1. Типы сечений сплошных колонн
2. Проверка на устойчивость центрально сжатого стержня колонны
3. Понятие о гибкости стержней колонн
4. Порядок выбора размеров сечения стержней
5. Конструкция сквозных колонн
6. Типы сечений сквозных колонн
7. Типы решеток сквозных колонн
8. Порядок расчета сквозных колонн по приведенной гибкости
9. Детали и узлы сварных колонн

Теоретические сведения

При проектировании центрально сжатых колонн необходимо обеспечить их равноустойчивость, т. е. такое положение, при котором гибкости относительно главных осей были бы равны между собой: $\lambda_x = \lambda_y$.

Сплошные колонны

На рисунке 1 представлены типы сечений центрально сжатых сплошных колонн. Широкополочный двутавр (рисунок 1,а), хотя и не обладает равной жесткостью относительно своих осей, обеспечивает простое конструктивное решение в колоннах, которые могут быть изготовлены из одного профиля, что является возможным при наличии в сооружении соответствующих дополнительных связей.

Для сварного сечения из трех листов (рисунок 1,б) может быть обеспечено условие равной устойчивости. Этот тип сечения является достаточно экономичным и часто применяется.

Равноустойчивыми и сравнительно простыми являются крестовые сечения, составленные из уголков (рисунок 1,в) или из трех полос (рисунок 1,г). Эти сечения находят применение в легких колоннах.

Сплошные сечения, составленные из комбинации прокатных профилей: швеллеров, двутавров и полос (рисунок 1,д,е), являются сравнительно простыми, но менее экономичными по расходу металла.

Наиболее экономичным типом сечений для центрально сжатых колонн являются трубчатые сечения (рисунок 1, ж, з, и, к). Эти сечения обладают равной устойчивостью и весьма рациональным распределением материала, находящегося на максимальном удалении от центра тяжести. Однако их недостатком является труднодоступность при окраске внутренней полости, поэтому при их применении необходимо принимать меры против проникновения внутрь влаги.

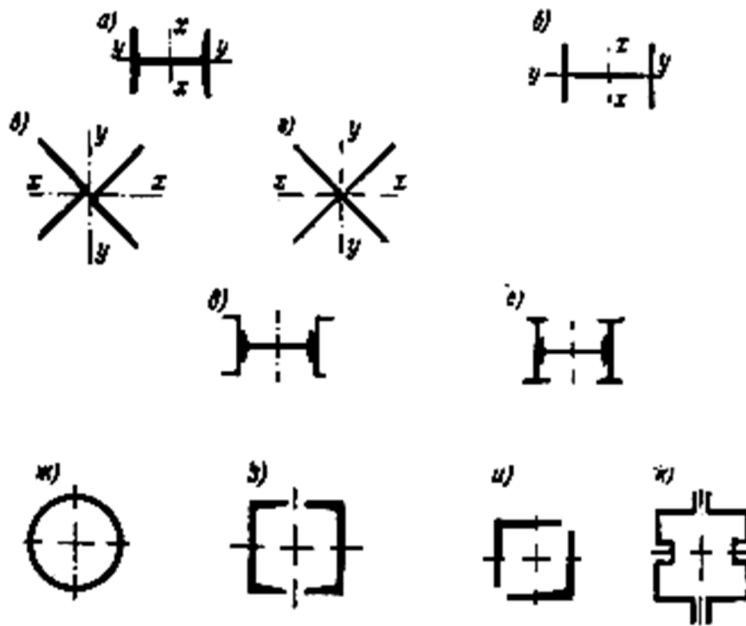


Рисунок 1 – Типы сплошных сечений центрально сжатых колонн

Проверка на устойчивость центрально сжатого стержня колонны производится по формуле

$$\sigma = \frac{N}{\varphi F} \leq R,$$

где φ — коэффициент продольного изгиба (таблица 1);

N — расчетная нагрузка;

F — площадь поперечного сечения, без учета местных ослаблений;

R — расчетное сопротивление.

Коэффициент φ зависит от гибкости стержня.

Таблица 1 - Значения коэффициента продольного изгиба для различных марок сталей

λ	Ст. 3 и Ст. 4	15ХСНД	10ХСНД
0	1,0	1,0	1,0
20	0,97	0,95	0,95
40	0,92	0,89	0,88
60	0,86	0,78	0,77
80	0,75	0,63	0,59
100	0,60	0,46	0,43
120	0,45	0,33	0,31
140	0,36	0,25	0,23
160	0,29	0,21	0,18
180	0,23	0,17	0,14
200	0,19	0,14	0,11

Наибольшая гибкость стержня со сплошным сечением определяется по формуле

$$\lambda_{\max} = \frac{l}{r_{\min}},$$

где l — расчетная длина, которая зависит от условий опирания концов колонны (таблица 2);

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{F}} — \text{наименьший радиус инерции;}$$

J_{\min} — наименьший момент инерции поперечного сечения.

Таблица 2 - Расчетная длина сжатых стержней

Схема опирания концов				
Расчетная длина l_p	$2h$	$0,7h$	h	$0,5h$

Гибкость колонн не должна превышать следующих значений: для основных колонн $\lambda_{\max} = 120$; для второстепенных колонн (стойки, фахверка, фонарей и т. п.), элементов решетки колонн, элементов вертикальных связей между колоннами (ниже подкрановых балок) $\lambda_{\max} = 150$.

Задача о подборе сечения сжатых элементов является статически неопределимой. Поэтому ее решают методом последовательных приближений. Вначале, для первого приближения, необходимо ориентировочно задаться значением коэффициента продольного изгиба φ . При этом могут быть использованы данные таблицы 3 или другие данные, составленные на основе опыта проектирования. Обычно коэффициент φ для сварных колонн находится в пределах $0,75—0,85$.

Таблица 3 - Значения радиуса инерции

Тип сечения					
r_x/h	0,21	0,43	0,38	0,38	0,43
r_y/b	0,20	0,43	0,44	0,60	0,24

Для первого приближения, с учетом принятого ориентировочного значения коэффициента φ , площадь поперечного сечения определяется по формуле

$$F = \frac{N}{\varphi R}$$

Высота сечения колонны зависит от расчетной длины и обычно принимается в пределах $\left(\frac{1}{15} - \frac{1}{20}\right) l$. Для колонн с сечением, составленным из трех листов, толщина поясов принимается в пределах 10—40 мм, а для стенки 6—18 мм.

Ширина поясных листов и высота стенки должны выбираться с учетом обеспечения местной устойчивости. В связи с этим рекомендуется ограничивать свесы полок в соответствии с данными в таблице 4, а соотношение размеров стенки принимать по формуле

$$k_{ст} = \frac{h_0}{s} = 40 \sqrt{\frac{2100}{R}} + 0,2\lambda,$$

но, кроме того, $k_{ст} \leq 75$.

В формуле принято:

$k_{ст}$ — высота стенки;

s — толщина стенки;

λ — гибкость стержня;

R — расчетное сопротивление в кгс/см².

Таблица 4 - Наибольшие допустимые отношения свеса листа b к его толщине S

Марка стали	Гибкость				
	25	50	75	100	125
Ст.3, Ст.4	14	15	16,5	18	20
14Г2, 16ГС, 10Г2С, 10Г2СД, 15ХСНД	12	13	14,5	16,5	18,5
10ХСНД	11	12,5	14	16	17,5

После ориентировочного определения размеров сечения определяют действительное значение гибкости и соответствующее ему значение коэффициента φ , после чего производят проверку напряжений по формуле и в случае необходимости проводят соответствующую корректировку намеченных размеров.

С увеличением высоты колонн габаритные размеры их поперечного сечения должны соответственно увеличиваться. При этом более целесообразным является применение сквозных колонн, которые характеризуются меньшим собственным весом.

Сквозные центрально-сжатые колонны

Стержень сквозной колонны состоит из двух или нескольких прокатных профилей, соединенных между собой в плоскостях полок планками или решетками. Наиболее часто встречаются сварные колонны,

составленные из двух ветвей, образованные из швеллеров или двутавров. Последний вариант применяется при более значительных нагрузках, при которых сечение швеллера оказывается недостаточным. Сечение, составленное из четырех уголков, применяется для элементов большой длины, требующих значительного развития габаритных размеров своего поперечного сечения.

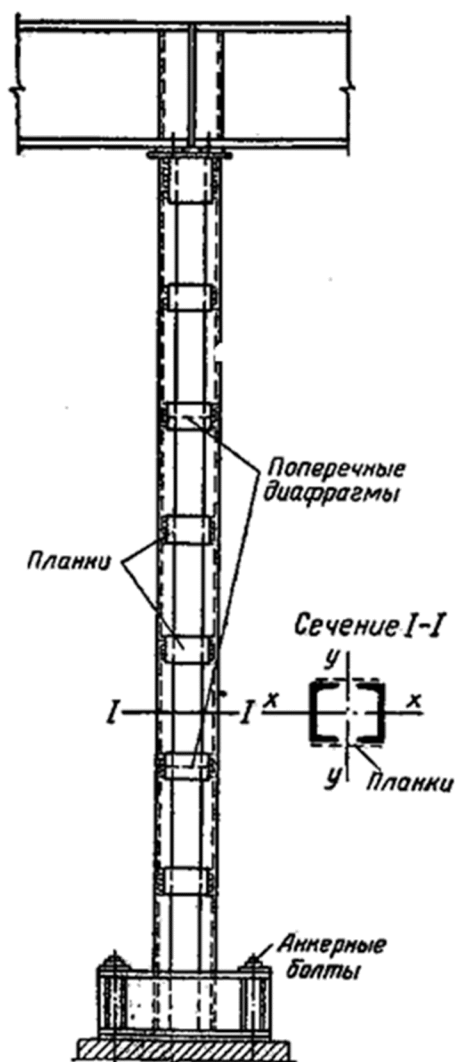


Рисунок 2 - Сквозная колонна с планками

Основным преимуществом сквозных колонн является возможность соблюдения в них условия равноустойчивости.

Сквозные колонны достаточно экономичны по расходу металла. В то же время они более трудоемки в изготовлении, так как обилие коротких швов затрудняет применение автоматической сварки.

Сечение стержня сквозных колонн образуется обычно из двух швеллеров, расположенных полками внутрь сечения (рисунок 3). Расположение швеллеров полками наружу при одних и тех же габаритных размерах сечения менее выгодно с точки зрения расхода материала и применяется только в клепаных колоннах из соображений удобства клепки.

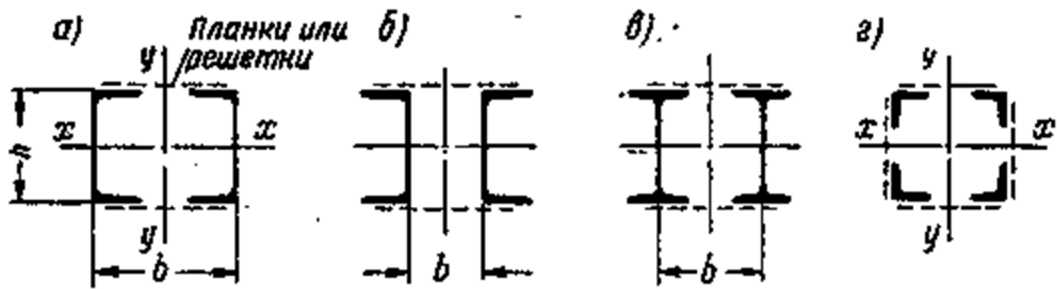


Рисунок 3 - Сечения сквозных колонн

Сечение, составленное из двутавров, применяется только при значительных нагрузках, исключающих применение швеллеров.

Сечение, составленное из четырех, уголков, применяется в сжатых элементах большой длины (мачтах, стрелах кранов и т. п.), требующих определенной жесткости в обоих направлениях. Это сечение весьма экономично, и конструкция получается относительно легкой, но наличие решеток в четырех плоскостях делает ее трудоемкой.

Решетка сквозных колонн обычно конструируется из одиночных уголков с предельной гибкостью элемента $\lambda = 150$. Решетка применяется треугольная, простая и с распорками, или раскосная (рисунок 4).

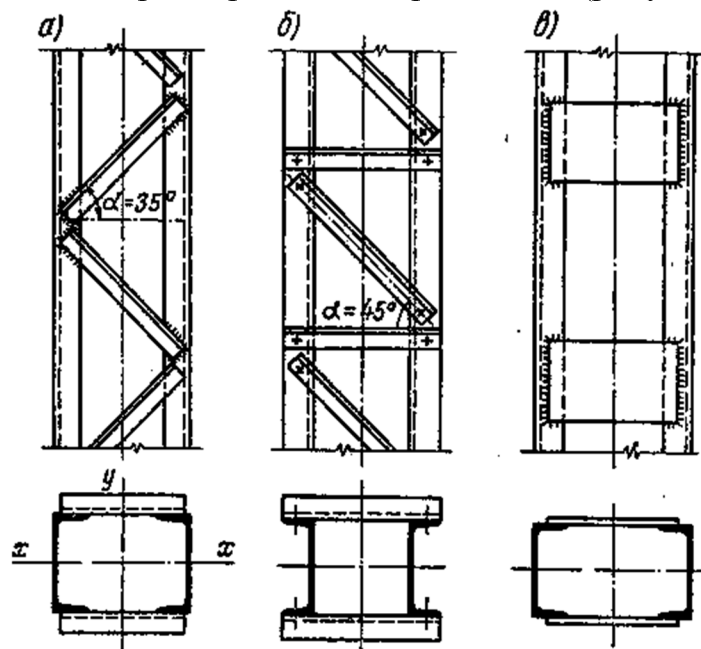


Рисунок 4 - Типы решеток сквозных колонн

Крепление решетки к ветвям колонны можно осуществлять на сварке или на заклепках; при этом разрешается центрировать уголки на наружные кромки ветвей. Колонны с планками проще в изготовлении, не имеют выступающих уголков решетки и более красивы. Колонны с решетками значительно жестче, особенно против кручения.

Колонны с соединительными планками более просты в изготовлении. Но их планки, а также отдельные ветви подвержены действию изгиба и поэтому применяются только при сравнительно небольших нагрузках (до 250 тс) и при небольших расстояниях между отдельными ветвями (до 0,8 м).

Для колонн с более значительными габаритными размерами и нагрузками применяются соединительные решетки, элементы которых свободны от изгиба, и поэтому они обеспечивают более жесткую связь между ветвями колонны.

Применение в качестве связей перфорированных листов может иметь преимущество при больших усилиях, а также при действии вибрационной нагрузки. При этом упрощается конструкция колонны, облегчаются условия сборки, появляется возможность применения автоматической сварки и устраняются очаги концентрации напряжений. Для условий действия вибрационной нагрузки этот вариант конструкции является наиболее технологичным.

Гибкость сквозного стержня в плоскости расположения сплошных стенок его ветвей в плоскости материальной оси является равноценной гибкости сплошного стержня.

Гибкость же сквозного стержня в плоскости соединительных решеток или планок в плоскости свободной оси зависит от расстояния между ветвями.

Поэтому при расчете сквозных стержней коэффициент продольного изгиба φ в плоскости соединительных решеток или планок определяется по приведенной гибкости $\lambda_{пр}$, которая вычисляется по следующим формулам.

Для стержней с планками в двух плоскостях

$$\lambda_{пр} = \sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}$$

Для стержней с решетками в двух плоскостях

$$\lambda_{пр} = \sqrt{\lambda_y^2 + k_1 \frac{F}{F_p}}$$

Для стержней с решетками в четырех плоскостях

$$\lambda_{пр} = \sqrt{\lambda^2 + F \left(\frac{k_1}{F_{p1}} + \frac{k_2}{F_{p2}} \right)}$$

Здесь λ_y — гибкость всего стержня относительно оси yy ,

λ — наибольшая гибкость всего стержня;

λ_1 и λ_2 — гибкости отдельных ветвей относительно осей $1-1$ и $2-2$ на участках между планками;

F — площадь сечения всего стержня;

F_{p1} , F_{p2} — площади сечения раскосов решеток, лежащих в плоскостях, перпендикулярных осям $1-1$ и $2-2$;

k_1 и k_2 — коэффициенты, которые зависят от величины угла между раскосом и ветвью (a_x или a_a) в плоскостях $1-1$ или $2-2$ и принимаются равными: при $a = 30^\circ$ $k = 45$

$a = 40^\circ$ $k = 31$

$a = 45-60^\circ$ $k = 27$.

Гибкость отдельных ветвей λ_1 и λ_2 на участке между узлами

соединительной решетки не должна превышать приведенную гибкость λ_{np} стержня в целом, а на участке между планками — не должна быть более 40.

Коэффициент продольного изгиба φ для составных стержней должен определяться по наибольшему значению гибкости (из двух значений λ_x или λ_{np}), но так как по условиям подбора приведенная гибкость λ_{np} никогда не превышает гибкости сплошного стержня λ_x , т. е.

$$\lambda_{np} \leq \lambda_x,$$

то при подборе размеров сечения составной колонны, как правило, исходят из необходимой гибкости λ_x .

Составные элементы из уголков и швеллеров, соединенных вплотную или через прокладки, рассчитываются как сплошные при условии, что наибольшие расстояния между их соединениями не превышает $40r$ (здесь r — радиус инерции уголка или швеллера относительно оси, параллельной плоскости расположения прокладок). При этом в пределах сжатого элемента следует ставить не менее двух прокладок.

Детали и узлы сварных колонн

База колонны

Базой колонны называется конструктивное уширение низа колонны, необходимое для передачи усилия со стержня колонны на фундамент.

Различают два основных типа баз — шарнирные и жесткие.

База служит для:

- распределения нагрузки от стержня колонны по площади фундамента;
- закрепления нижнего конца колонны в соответствии с принятой расчетной схемой

База колонны имеет опорную плиту, через которую происходит распределение нагрузки на фундамент.

Размеры опорной плиты центрально сжатой колонны определяются в зависимости от расчетного сопротивления материала фундамента (бетона) сжатию R_ϕ .

При относительно небольших значениях продольной силы применяется простая конструкция базы в виде толстой плиты, на которую опирается стержень колонны. Для равномерной передачи усилия торец колонны фрезеруется, а поверхность плиты строгаются. Плита под воздействием реактивного давления грунта работает как консоль на изгиб и для равномерной передачи усилия на грунт должна обладать большой жесткостью и, следовательно, толщиной. Поэтому при очевидной простоте конструкции этот тип базы применяется редко.

Чтобы уменьшить толщину плиты и обеспечить ее прочность на изгиб предусматривают передачу нагрузки от колонны на плиту через консольные ребра или траверсы

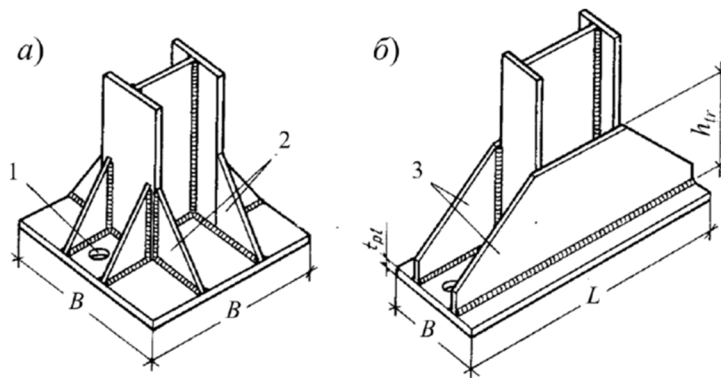


Рисунок 5 - Базы колонн:

а — консольными ребрами; б — с траверсами;

1 — отверстия под анкерные болты;

2 — консольные ребра;

3 — траверсы

Такие колонны, как правило, устанавливают в собранном виде на заранее выверенные опорные детали с последующей подливкой цементным раствором. В проектном положении колонну закрепляют анкерными болтами.

В базе с *шарнирным сопряжением* (рисунок б) анкерные болты диаметром 20—30 мм крепятся непосредственно за опорную плиту, обладающую определенной гибкостью, обеспечивающей податливость при действии случайных моментов. Для возможности некоторой передвижки (рихтовки) колонны в процессе ее установки в проектное положение диаметр отверстий в плите для анкерных болтов принимают в 1,5—2 раза больше диаметра болтов. На анкерные болты надевают шайбы с отверстием, которое на 3 мм больше диаметра болта, и после натяжения болта гайкой шайбу приваривают к плите.

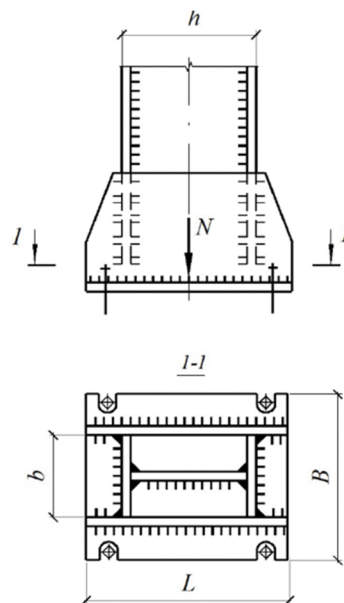


Рисунок 6 - База колонны при шарнирном сопряжении с фундаментом базу.

Если увеличить толщину опорной плиты до 30—40 мм, надежно укрепить ее от изгиба консольными ребрами и затянуть анкерные болты (не менее 4 болтов) контролируемым усилием, то получим жесткую базу

(рисунок 7). Однако это решение возможно только при сравнительно небольших изгибающих моментах

При действии значительных моментов и жестком сопряжении анкерные болты крепятся к выносным консолям траверс, имеющим значительную вертикальную жесткость, что устраняет возможность поворота колонны на фундаменте. При этом болты диаметром 24—36 мм затягиваются с напряжением, близким к расчетному сопротивлению материала болта. Анкерная пластина принимается толщиной 20—40 мм и шириной b , равной четырем диаметрам отверстий под болты.

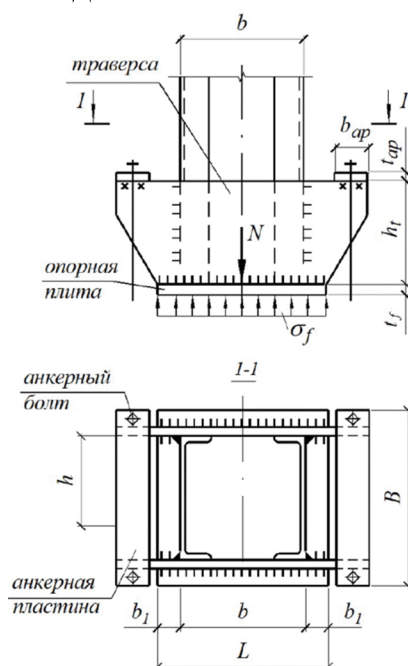


Рисунок 7 - База колонны при жестком сопряжении с фундаментом

При определении площади плиты предполагается, что давление на фундамент передается по всей опорной поверхности равномерно

$$F \geq \frac{N}{R_{\Phi}}$$

где N — расчетное усилие в колонне;

R_{Φ} — расчетное сопротивление сжатию материала фундамента.

Для бетонного фундамента $R_{\Phi} = 50-80 \text{ кгс/см}^2$. Плита воспринимает давление со стороны фундамента и работает на изгиб.

Размеры косынок или траверсы определяются по конструктивным соображениям с учетом размещения сварных швов, через которые передается усилие от стержня колонны.

Для закрепления плиты в фундаменте ставятся анкерные болты, которые воспринимают растягивающие усилия, возникающие во внецентренно сжатых колоннах. Диаметр анкерных болтов принимается не менее 25 мм. С каждой стороны базы ставится не менее двух болтов.

Для упрощения монтажных работ прикрепление базы колонны к фундаменту осуществляется через траверсы, которым придают несколько большую длину, чем опорной плите. При этом площадь опирания колонны располагается между болтами, что обеспечивает возможность

предварительной установки фундаментных болтов, которые затем заводятся в боковые прорези траверс и закрепляются в них посредством накладных шайб, привариваемых к траверсам после окончания сборки.

Оголовок колонны

Оголовок колонны выбирается в зависимости от типа сопряжения колонны с балкой.

В случаях, когда балка передает только вертикальные нагрузки, прикрепление является наиболее простым и удобным для монтажа. Свободное опирание балок сверху производится через плиту, которая приваривается к верхнему торцу стержня колонны по периметру.

Размеры сварных швов, определяются из условия передачи через них только вертикального давления

Оголовки служат для восприятия нагрузок от опирающихся на колонны или примыкающих к ним элементов (балок, ферм и т. п.).

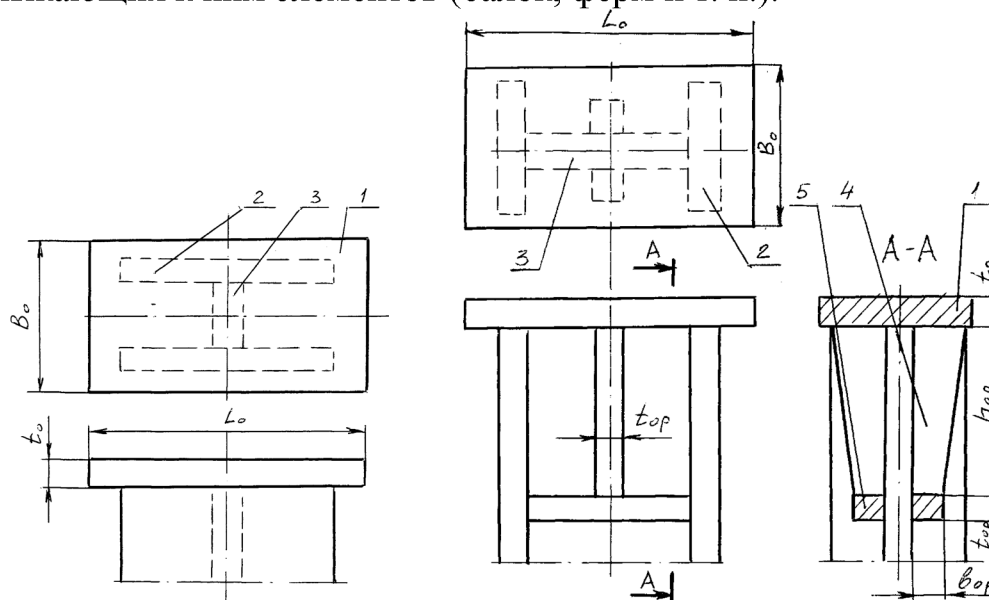


Рисунок 8 - Конструкция оголовка:

- 1- плита оголовка
- 2- пояс
- 3 – стенка
- 4 – вертикальное ребро
- 5 – горизонтальное ребро

Шарнирные сопряжения выполняют обычно, устанавливая балку или ферму сверху оголовка, что обеспечивают простоту монтажа.

При малых усилиях оголовки выполняют в виде плиты без дополнительных ребер и усилений, соединяемой с торцом стержня угловыми швами. Швы передают усилие от плиты на стержень.

Плиту оголовка назначают без расчета толщиной 6—25 мм. Катет угловых швов, крепящих плиту по периметру торца стержня, определяется расчетом на передачу опорного усилия.

Малая жесткость плиты оголовка не обеспечивает восприятие опорного усилия при ее работе на изгиб. При конструировании оголовка необходимо обеспечить передачу опорного усилия на жесткие элементы колонны.

При больших усилиях, когда величина катетов сварных швов, крепящих плиту к стержню колонны, составляет более 8...10 мм, опорную плиту укрепляют вертикальными парными ребрами с подкреплением снизу горизонтальным ребром. В этом случае усилие от плиты распределяется на большую суммарную длину швов. При очень больших усилиях (более 4000кН), действующих на колонну, толщину ее стенки в верхней части стрелы увеличивают и стенку укрепляют ребрами жесткости.

Ребра оголовка приваривают к плите и ветвям оголовка или в сплошностенчатой колонне — к стенке.

Контрольные вопросы:

1. Какие типы сечений применяют для стоек при небольших и больших усилиях?
2. Какие из этих сечений наиболее экономичны?
3. Что называется гибкостью стойки? Какую размерность она имеет?
4. Что называется радиусом инерции поперечного сечения и как он определяется? Каковую имеет размерность?
5. Какие допускаемые напряжения применяются при расчете стоек? Что такое коэффициент φ ?
6. Зависит ли коэффициент φ от марки металла, гибкости? От каких еще параметров зависит коэффициент φ ?
7. Как определяется гибкость в зависимости от опорных закреплений стоек?
8. С какой целью стойки, составленные из нескольких ветвей, соединяют между собой связями?
9. Какие виды связей применяют при конструировании стоек?
10. В каких случаях применяются колонны с соединительными планками?
11. Как определяется коэффициент продольного изгиба φ для составных стержней?
12. Как изменится величина α гибкости колонны при увеличении угла между раскосом и ветвью?
13. Почему конструкция базы колонны в виде плиты применяется ограниченно?
14. Что представляют собой консольные ребра и траверсы (см.рис.2)?
15. Каково минимальное количество анкерных болтов для обеспечения жесткой база колонны?
16. В каких случаях плита оголовка укрепляется вертикальными ребрами? Почему ребра должны быть парными?
17. Чему равна минимальная толщина плиты оголовка?