

Тема: Конструирование и расчет внецентренно-сжатых колонн

Задание для студентов

- 1 Ознакомиться с теоретическим материалом
- 2 Составить конспект лекции (объем 2-3 страницы).
- 3 Заполнить таблицу определения эксцентриситета по изгибающему моменту

Виды конструкции	Расчетное значение изгибающего момента
колонны постоянного сечения	
ступенчатые колонны	
консоли	
стержни с шарнирными опорами	

4. Ответить на контрольные вопросы в **письменном** виде
5. 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

Тема: Конструирование и расчет внецентренно-сжатых колонн

План

1. Типы сечений внецентренно сжатых колонн
2. Понятие критических напряжений
3. Проверка прочности сплошных колонн
4. Проверка прочности сквозных колонн

Теоретические сведения

Внецентренно сжатые колонны наиболее широкое применение получили в каркасах промышленных зданий в виде колонн с консолями и ступенчатых колонн, которые входят в систему жесткой поперечной рамы, и кроме общих нагрузок, приходящихся на каркас, воспринимают вертикальную нагрузку от подъемных кранов, передаваемую с эксцентриситетом. Типы сечений таких колонн показаны на рисунке 1.

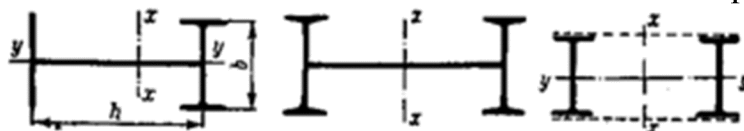


Рисунок 1 – Типы сечений внецентренно сжатых колонн

Особенностью работы таких колонн является то, что при внецентренном сжатии изгиб стержня возникает уже с самого начала приложения нагрузки и возрастает вместе с нарастанием продольных сил и моментов.

Наличие эксцентриситета не отражается на величине критических напряжений, пока явление происходит в пределах упругости, однако уже за пределом пропорциональности наличие эксцентриситета значительно снижает величину критических напряжений.

Переход в неустойчивое равновесие происходит в пределах зоны пластических деформаций, при этом установлено, что потеря устойчивости внецентренно сжатого стержня имеет место при неполном развитии пластичности, т. е. при условии, когда в сечении еще сохраняется некоторая упругая часть (упругое ядро).

С появлением пластических деформаций пластическая часть сечения мало сопротивляется дальнейшему возрастанию деформаций. В основном сопротивление дальнейшему изгибу оказывает только упругая часть сечения. Формула Эйлера для определения критических напряжений выведена без учета эксцентриситета и пластических деформаций. Поэтому применять ее для расчета внецентренно сжатых стержней можно только при условии, если в нее ввести соответствующую поправку. При этом она будет иметь вид

$$\sigma_{кр}^{вн} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \mu^2.$$

Здесь $\mu < 1$ — коэффициент приведения, равный отношению радиуса инерции упругого ядра к радиусу инерции всего сечения.

Коэффициент μ зависит от формы сечения. Кроме того, он зависит также и от величины эксцентриситета (или от изгибающего момента), который влияет на развитие пластических деформаций и определяет величину упругого ядра.

Сплошные колонны

Наиболее неблагоприятной формой для внецентренно сжатых стержней является двутавровое сечение при эксцентриситете в плоскости стенки. При появлении пластических деформаций в нем сразу исключается из работы весьма значительная часть сечения. При дальнейшем же развитии пластических деформаций двутавровое сечение превращается даже в тавровое. Если с появлением пластических деформаций из работы выбывает сравнительно небольшая часть площади сечения, как, например, в том же двутавровом сечении, но при эксцентриситете в направлении, параллельном полкам, то оставшаяся часть сечения ослабляется в меньшей степени, и потеря устойчивости будет происходить при более продолжительном развитии пластических деформаций.

Таким образом, критическое напряжение при внецентренном сжатии зависит от трех факторов: гибкости стержня, формы его сечения и эксцентриситета приложения нагрузки.

При расчете по методике предельных состояний проверка на устойчивость внецентренно сжатых элементов производится по формуле

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{BH} F} \leq R$$

Здесь N — продольная сила, приложенная с эксцентриситетом

$$e = \frac{M}{N};$$

F — площадь поперечного сечения элемента;

φ_{BH} — коэффициент понижения напряжений при внецентренном продольном изгибе.

Расчетные значения изгибающих моментов, необходимые для вычисления эксцентриситета $e = \frac{M}{N}$, принимаются равными:

- а) для колонн постоянного сечения рамных систем - наибольшему моменту в пределах длины колонны;
- б) для ступенчатых колонн — наибольшему моменту на длине участка постоянного сечения;
- в) для консолей — моменту в заделке;
- г) для стержней с шарнирно опертыми концами — моменту, определяемому по формулам таблицы 1.

Таблица 1 - Формулы расчетных моментов для стержней с шарнирно-опертыми концами

Относительный эксцентриситет m	Гибкость	
	$\lambda < 120$	$\lambda > 120$
$m \leq 3$	$M = M_2 = M_{\max} - \frac{\lambda}{120} (M_{\max} - M_1)$	$M = M_1$
$3 < m \leq 20$	$M = M_2 + \frac{m-3}{17} (M_{\max} - M_2)$	$M = M_1 + \frac{m-3}{17} (M_{\max} - M_1)$

Обозначения: M_1 — наибольший изгибающий момент в пределах средней трети длины стержня,

M_2 — расчетный момент при $m \leq 3, \lambda < 120$.

Примечание: Во всех случаях принимается $M \geq 0,5M_{\max}$

Коэффициент φ_{BH} представляет собой отношение критического напряжения потери устойчивости при внецентренном сжатии к пределу текучести

$$\varphi_{BH} = \frac{\sigma_{KR}^{BH}}{\sigma_T}$$

Экспериментальные и теоретические исследования дают для внецентренно сжатых стержней значения критических напряжений, в функции гибкости и относительного эксцентриситета. Эти значения ниже критических напряжений для центрально сжатых стержней.

При этом с увеличением значения относительного эксцентриситета m влияние гибкости ослабевает.

Относительный эксцентриситет m представляет собой отношение линейного эксцентриситета e к радиусу ядра сечения $\rho = \frac{W}{F}$

$$m = \frac{e}{\rho} = \frac{eF}{W}$$

Для сквозных стержней относительный эксцентриситет определяется по формуле

$$m_x \leq e_x \frac{y_2 F}{J_x}$$

где y_2 — расстояние от нейтральной оси до оси наиболее сжатой ветви;

J_x — момент инерции сечения относительно оси X .

Для учета влияния формы вводится специальный коэффициент μ , с помощью которого вычисляется приведенный эксцентриситет m_1 :

$$m_1 = \mu \cdot m$$

Значения коэффициента формы μ приведены в таблице 2. Расчетные длины l_0 колонн определяются по формуле

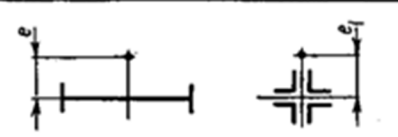
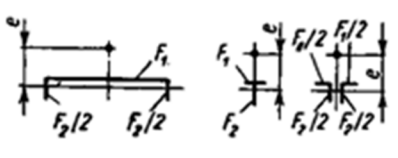
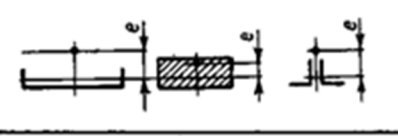
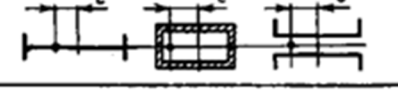

$$l_0 = \mu \cdot l$$

где l — длина колонны;

μ — коэффициент расчетной длины.

Таблица 2

Коэффициенты влияния формы сечения η для вычисления приведенного эксцентриситета $m_1 = \mu \cdot m$

Схема сечения	Значения η при	
	$20 < \lambda < 150$	$\lambda > 150$
	$0,775 + 0,0015\lambda$	1,0
	$1,3 + 0,5 \sqrt{m}$	$1,3 + 0,5 \sqrt{m}^*$
	1,0	1,0
	$1,45 - 0,003\lambda$	1,0
	$1,3 - 0,002\lambda$	1,0

В справочной литературе (в том числе в СНиП 11—В.3—62) приводятся подробные таблицы для определения значений коэффициента расчетной длины для различных случаев и вариантов, определяемых условиями опирания концов стоек поперечных рам одноэтажных и многоэтажных зданий.

Коэффициент φ^{BH} является функцией гибкости k и приведенного эксцентриситета m_1 . Значения коэффициента φ^{BH} для стержней из малоуглеродистой и низколегированной стали указаны на графиках.

Для сплошного прямоугольного сечения коэффициент формы $\eta = 1$. Для неблагоприятных сечений, у которых при развитии пластических деформаций из работы сразу выпадает большая часть площади сечения, коэффициент формы $\eta > 1$. К таким сечениям относятся двутавры, прямоугольные трубчатые сечения при эксцентриситете в направлении стенок.

Сквозные стержни с достаточно частой решеткой, обеспечивающей слитность работы ветвей, могут рассчитываться как сплошные. Податливость решетки учитывается введением несколько большей гибкости, называемой приведенной. Критические напряжения зависят от формы ветвей: если сжатая ветвь представляет собой, например, швеллер полками внутрь, коэффициент формы может быть принят $\eta = 1,4$, а если швеллер полками наружу, то $\eta = 0,8$ (см. таблицу 2).

Коэффициент формы η для колонн лежит в пределах 1,2—1,3. Приняв средние значения: $\eta = 1,25$; $\rho = 0,45$, $e_{\text{max}} = 0,5h$, найдем

$$m_1 = \eta \frac{e}{\rho} = 1,25 \frac{e_{0,5h}}{(0,45h)^2} = 3,08 \frac{e}{h}$$

Высота сечения H выбирается в зависимости от высоты стержня колонны l . Так, например, для колонн высотой $l = 20$ м $H = 1$ м.

Гибкость λ для колонн обычно находится в пределах 50—90 (в среднем $\lambda = 70$).

Для принятых значений по m_1 и k по таблицам или графикам можно определить φ^{BH} и найти в первом приближении площадь поперечного сечения

$$F = \frac{N}{\varphi^{\text{BH}} R}$$

Проверив принятое значение F по формуле, можно наметить те изменения, которые необходимы для получения последующего приближения.

При больших значениях приведенного эксцентриситета ($m_1 > 4$) влияние нормальной силы и значение гибкости стержня уменьшаются. В этом случае можно пользоваться приближенной формулой Ясинского

$$\sigma = \frac{N}{\varphi F} + \frac{M}{W},$$

Внецентренно сжатый стержень должен быть также проверен на устойчивость из плоскости действия момента, так как момент уменьшает упругую часть сечения и поэтому критическое напряжение из плоскости тоже оказывается несколько меньшим и равным

$$Q_{\text{кр}} = C \cdot \sigma_{\text{кр}},$$

где $\sigma_{\text{кр}}$ — критическое напряжение при отсутствии момента;

C — коэффициент уменьшения критических напряжений.

В нормах СНиП приведены детальные указания о методике определения коэффициента C для различных других случаев, учитывающих относительный эксцентриситет, гибкость и форму сечения.

Сквозные колонны

В составных внецентренно сжатых стержнях кроме проверки на устойчивость стержня в целом должны быть проверены отдельные ветви как центрально сжатые стержни. Условия обеспечения местной устойчивости полков внецентренно сжатых стержней такие же, как и центрально сжатых.

Для стенки внецентренно сжатого элемента условия обеспечения устойчивости несколько изменяются в связи с появлением неравномерного распределения напряжений от изгиба.

Кроме проверки на устойчивость внецентренно сжатые стержни должны быть проверены еще и на прочность.

Прочность сплошностенчатых внецентренно сжатых элементов, не подвергающихся непосредственному воздействию динамических нагрузок, проверяется по формуле

$$\left(\frac{N}{FR}\right)^{\frac{3}{2}} + \frac{M_x}{W_x R} + \frac{M_y}{W_y R} \leq R$$

где N , M_x и M_y — абсолютные значения продольной силы и изгибающих моментов относительно осей xx и yy ;

W — пластические моменты сопротивления сечений относительно осей XX и YY (которые не должны превышать соответствующие значения упругих моментов сопротивления более чем на 20%).

Проверка прочности стержней со сплошными сечениями производится с учетом пластических деформаций, тогда как при расчете составных стержней учитываются только упругие деформации. Это согласуется с особенностями условий работы стержней указанных двух типов. Стержни со сплошным сечением значительно меньше по высоте, чем стержни с составным сечением, и поэтому пластические деформации у стержней первого типа являются более значительными.

В упругопластической стадии работы принцип независимости действия различных силовых факторов неприменим. Влияние продольного усилия в этих условиях является более значительным, чем изгибающих моментов.

Соединительные решетки или планки составных внецентренно сжатых стержней должны рассчитываться на условную поперечную силу, как и составные центрально сжатые стержни. Однако внецентренно сжатые стержни могут воспринимать и действительную поперечную силу. В таком случае расчет соединительных элементов должен производиться на большую из этих сил. При этом, если действительная поперечная сила больше условной, применять соединительные планки не рекомендуется.

Контрольные вопросы:

- 1 Как определяется гибкость в зависимости от опорных закреплений стоек?
- 2 Как подбирают сечение в сжатой стойке при заданном усилии и допуске напряжений?
- 3 От каких факторов зависит критическое напряжение при внецентренном сжатии ?
- 4 Что называется относительным эксцентриситетом m ?
- 5 Может ли значение коэффициента формы превышать 1,3 (см. табл.2)?