

9) Колонны одноэтажных и многоэтажных зданий. Поперечное сечение и назначение размеров. Симметричное и несимметричное армирование. Учет гибкости элементов.

К центрально-сжатым элементам условно относят: промежуточные колонны в зданиях и сооружениях; верхние пояса ферм, нагруженных по узлам; восходящие раскосы и стойки ферменной решетки, а также некоторые другие конструктивные элементы. В действительности, из-за несовершенства геометрических форм элементов конструкций, отклонения их реальных размеров от назначаемых по проекту, неоднородности бетона и других причин обычно центральное сжатие в чистом виде не наблюдается, а происходит внецентренное сжатие с так называемыми случайными эксцентриситетами.

По форме поперечного сечения сжатые элементы со случайным эксцентриситетом выполняют чаще всего квадратными или прямоугольными, реже круглыми, многогранными, двутавровыми. Размеры поперечного сечения колонн определяют расчетом. В целях стандартизации опалубки и арматурных каркасов размеры прямоугольных колонн назначают кратными 50 мм, предпочтительнее кратными 100 мм. Чтобы обеспечить хорошее качество бетонирования, монолитные колонны с поперечными размерами менее 250 мм не рекомендуются применять. В условиях внецентренного сжатия находятся колонны одноэтажных производственных зданий, нагруженные давлением от кранов, верхние пояса безраскосных ферм, стены прямоугольных в плане подземных резервуаров, воспринимающие боковое давление грунта или жидкости и вертикальное давление от покрытия. В них действуют сжимающие силы N и изгибающие моменты M поперечные силы Q .

Расстояние между направлением сжимающей силы и продольной осью элемента e_0 называется эксцентриситетом. В общем случае в любом месте элемента статически определимых конструкций значение эксцентриситета определяют по выражению

$$e_0 = M/N + e_a \quad (4.1)$$

где e_a — случайный эксцентриситет.

Для элементов статически неопределимых конструкций принимают

$$e_0 = M/N, \text{ но не менее } e_a. \quad (4.2)$$

По нормам случайные эксцентриситеты e_a следует принимать равными большему из следующих значений: $1/30$ высоты сечения элемента; $1/600$ длины элемента (или ее части между местами, закрепленными от поперечных перемещений). В сборных конструкциях следует учитывать возможность образования случайного эксцентриситета вследствие смещения элементов на опорах из-за неточности монтажа; при отсутствии опытных данных значение этого эксцентриситета принимают не менее 10 мм.

Внецентренно сжатые элементы целесообразно выполнять с развитыми поперечными сечениями в плоскости действия момента.

Для сжатых элементов применяют бетон классов по прочности на сжатие не ниже В15, для сильно нагруженных — не ниже В25.

Насыщение поперечного сечения продольной арматурой элементов, сжатых со случайными эксцентриситетами, оценивают коэффициентом μ или процентом армирования (-значения в 100 раз больше). В практике для сжатых стержней обычно принимают армирование не более 3%.

Если площади сечения арматуры S и S' одинаковы, армирование называют симметричным; оно предпочтительнее, чем несимметричное армирование.

Соединять продольные стержни по длине элемента не рекомендуется.

Рабочие стержни в поперечном сечении колонны размещают возможно ближе к поверхности элемента с соблюдением минимальной толщины защитного слоя δ , которая по нормам должна быть не менее диаметра стержней арматуры и не менее 20 мм.

Колонны сечением до 400Х400 мм можно армировать четырьмя продольными стержнями, что соответствует наибольшему допустимому расстоянию между стержнями рабочей арматуры.

Поперечные стержни ставят без расчета, но с соблюдением требований норм. Расстояние между ними s должно быть при сварных каркасах не более $20d$, при вязаных — $15d$, но не более 500 мм (здесь d — наименьший диаметр продольных сжатых стержней). Расстояния s округляют до размеров, кратных 50 мм.

Плоские сварные каркасы объединяют в пространственные с помощью поперечных стержней, привариваемых контактной точечной сваркой к угловым продольным стержням плоских каркасов. Если в сварных каркасах у больших граней сечения элемента размещены промежуточные стержни, то эти стержни (принадлежащие противоположным каркасам) соединяют между собой дополнительными шпильками, устанавливаемыми по длине элемента с шагом, равным шагу поперечных стержней плоских каркасов.

В вязаных каркасах продольные стержни укрепляют хомутами на перегибах хомутов по крайней мере через один, при ширине грани не более 400 мм и числе продольных стержней у этой грани не более четырех допускается охват всех продольных стержней одним хомутом.

Предварительное напряжение применяют для внецентренно сжатых элементов с большими эксцентриситетами сжимающей силы, когда изгибающие моменты значительны и вызывают растяжение части сечения, а также для элементов очень большой гибкости. Повышение трещиностойкости и жесткости элемента посредством предварительного напряжения полезно в первом случае для эксплуатационного периода, во втором — для периода изготовления, транспортирования и монтажа.

Применять очень гибкие центрально-сжатые элементы нерационально, поскольку несущая способность их сильно снижается вследствие большой деформативности. Во всех случаях элементы из тяжелого бетона и бетона на пористых заполнителях должны иметь гибкость в любом направлении

$$\lambda = l_0/i \leq 200 \quad (4.3) \text{ а колонны зданий } \lambda = l_0/i \leq 120 \quad (4.4)$$

Эксперименты показали, что сопротивление коротких центрально-сжатых элементов внешнему усилию складывается из сопротивления бетона и продольной арматуры. При этом обычно бетон достигает своего предела прочности, а арматура — предела текучести; это обусловлено достаточно большими неупругими деформациями сильно напряженного бетона.

На несущую способность длинных (гибких) сжатых железобетонных элементов заметное влияние оказывают случайные эксцентриситеты, явление продольного изгиба, длительное воздействие нагрузки.

По нормам случайные эксцентриситеты e_a должны приниматься равными большему из следующих значений: $1/30$ высоты сечения элемента, $1/600$ длины элемента (или ее части между местами, закрепленными от поперечных перемещений). В сборных конструкциях следует учитывать возможность образования случайного эксцентриситета вследствие смещения элементов на опорах из-за неточностей монтажа; при отсутствии опытных данных значение этого эксцентриситета принимается не менее 1 см.

Некоторые элементы прямоугольного сечения, а именно с симметричным армированием стержнями из стали классов А-1, А-11, А-111 при $l_0 \leq 20h$ и эксцентриситете $e_0 = e_a \leq h/30$ в практике допускается рассчитывать по несущей способности (предельное состояние первой группы) как центрально-сжатые, исходя из условия

$$N \leq \eta \varphi [R_b A + R_{sc} (A_s + A'_s)] \quad (IV.2)$$

Здесь N — продольное сжимающее усилие, вычисленное при расчетных нагрузках; $A = hb$ — площадь сечения элемента; h и b — высота и ширина сечения; η — коэффициент условий работы, равный 0,9 при $h \leq 200$ мм и 1 при $h > 200$ мм; φ — коэффициент, учитывающий длительность загрузки, гибкость и характер армирования элемента, вычисляемый по зависимости

$$\varphi = \varphi_b + 2(\varphi_r - \varphi_b) R_{sc} (A_s + A'_s) / R_b A, \quad (IV.3)$$

но принимаемый не более φ_r ; причем значения φ_b и φ_r находят по табл.

Несущую способность сжатого элемента со случайными эксцентриситетами при всех известных данных о размерах поперечного сечения элемента, армирования, материалах и нагрузке проверяют по формуле (IV.2)

Если предварительно приняты размеры поперечного сечения и необходимо найти лишь площадь сечения арматуры, следует воспользоваться выражением (IV.2), из которого искомая площадь сечения арматуры

$$(A_s + A'_s) = N / \eta \varphi R_{sc} - A R_b / R_{sc}, \quad (IV.4)$$

где φ — устанавливается методом последовательного приближения. Поперечные размеры центрально-сжатого элемента и площадь сечения арматуры при заданных нагрузке, расчетной длине и материалах определяют, первоначально задаваясь

значениями $\varphi = \eta = 1$, $A_s + A'_s = \mu A = 0,01 A$. Из условия (IV.2) вычисляют $A = N / \eta \varphi (R_b + \mu R_{sc})$ (IV.5)

и назначают размеры поперечного сечения элемента с учетом их унификации. Затем вычисляют отношение l_0/h и подбирают $(A_s + A'_s)$ способом, указанным выше.

Если окажется, что процент армирования рассчитанного сечения не удовлетворяет условию $\mu_{\min} \% \leq \mu \% \leq \mu_{\max} \%$ (3%), то поперечные размеры элемента следует изменить и повторно вычислить значения φ , $(A_s + A'_s)$. Сечение можно считать подобранным удовлетворительно, если $\mu = 1...2 \%$

Для прямоугольного сечения

$$A_{bc} = bx; \quad N_b = R_b bx; \quad z_b = h_0 - 0,3x. \quad (4.24)$$

С учетом этих выражений формула для расчета по несущей способности принимает вид

$$Ne \leq R_b bx (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'), \quad (4.25)$$

где $e = e_0 \eta + h/2 - a$,

Высоту сжатой зоны определяют из следующих уравнений:

$$\text{при } \xi = x/h_0 \leq \xi_R$$

$$N = R_b bx + R_{sc} A'_s - R_s A_s; \quad (4.26)$$

$$\text{при } \xi = x/h_0 > \xi_R$$

$$N = R_b bx + R_{sc} A_s - \sigma_s A_s, \quad (4.27)$$

Проверка несущей способности. При проверке несущей способности элемента, когда все данные о нем известны, из формулы

(4.26) в предположении условия $\xi = x/h_0 \leq \xi_R$ вычисляют высоту сжатой зоны

$$x = (N - R_{sc} A'_s + R_s A_s) / (R_b b); \quad (4.28)$$

затем определяют ξ_R по формуле. Проверяют условие $x \leq \xi_R h_0$, и, если оно соблюдено, то при найденном значении x проверяют несущую способность элемента по формуле (4.25). Несоблюдение условия $\xi = x/h_0 \leq \xi_R$ указывает на то, что x необходимо определять при условии $\xi = x/h_0 > \xi_R$ по формуле (4.27).

При использовании бетонов классов не выше В30 и ненапрягаемой арматуры классов А-I, А-II, А-III при $x > \xi_R h_0$ значение σ_s следует подставить в уравнение (4.27), откуда вычислить x . Вычисленное значение x следует применить в формуле (4.25) для проверки несущей способности элемента.

При $x > \xi_R h_0$ и при использовании бетонов класса выше В30 и арматуры класса А-IV и выше значение σ_s следует подставить в равенство (4.27) и вычислить x . Затем для проверки несущей способности элемента воспользоваться формулой (4.25).

Подбор арматуры. При подборе площади сечения арматуры A_s и A'_s (значения N , l_0 , b и h считаются известными) расчетные формулы преобразуются следующим образом.

Условие $\xi = x/h_0 \leq \xi_R$. Очевидно, что когда арматура s' в сечении элемента требуется по расчету тогда, когда относительная высота сжатой зоны при учете только одной арматуры превышает граничное значение ξ_R . Учитывая это значение высоты сжатой зоны и отвечающее ему α_m из табл. 3.1, на основании формул (4.25) и (4.26) получают:

$$A'_s = (Ne - \alpha_m R_b b h_0^2) / (R_{sc} z_s), \quad A_s = (\xi_R R_b b h_0 - N) / R_s + A'_s R_{sc} / R_s. \quad (4.30)$$

Площадь сечения арматуры A'_s должна быть не меньше минимальной.

При заданном сечении арматуры A'_s на основании формулы (4.25) составляют уравнение

$$x(h_0 - 0,5x) = [Ne - R_{sc} A'_s (h_0 - a')] / (R_b b). \quad (4.31)$$

В правой части этого равенства все величины известны. $\alpha_m = \xi (1 - 0,5\xi)$, где $\xi = x/h_0$ определяют

$$\alpha_m = [Ne - R_{sc} A'_s (h_0 - a')] / R_b b h_0^2. \quad (4.32)$$

Соответственно значению α_m можно определить ξ из табл. 3.1 или же вычислить его по выражению

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2/\alpha_m}. \quad (4.33)$$

Имея таким образом $x = \xi h_0$, из выражения (4.26) находят искомую площадь арматуры

$$A_s = (\xi R_b b h_0 - N)/R_s + A'_s R_{sc}/R_s. \quad (4.34)$$

В практике нередко применяют симметричное армирование, в частности в элементах, испытывающих действие противоположных по знаку, но близких по значению изгибающих моментов.

При симметричном армировании, когда $A = A'_s$ и $R_{sc} = R_s$, т. е. когда $R_{sc} A'_s = R_s A_s$, из выражения (4.26) можно вычислить

$$x = N/R_b b. \quad (4.35)$$

Затем, используя значение x , по формуле (4.25) найти $A_s = A'_s = N(e - h_0 + N/2R_b b)/R_{sc}(h_0 - a'). \quad (4.36)$

Условие $\xi = x/h > \xi_R$. Прямой подсчет площадей сечения арматуры A_{sc} и A'_s затруднителен из-за сложности используемых зависимостей. Целесообразно применить симметричное армирование $A'_s = A_s$, $R_{sc} = R_s$. Расчетные формулы для подбора симметричной арматуры получают из совместного решения системы трех уравнений: уравнений равновесия продольных сил, прочности и эмпирической зависимости для σ_s .

Для обобщения изложенного ниже приведена рекомендуемая последовательность расчета сечения арматуры элементов прямоугольного профиля с несимметричным армированием (без предварительного напряжения).

1. Выписывают расчетные данные R_b , R_s , R_{sc} , e_b , e_s ; вычисляют значения h_0 , z_s , $e_0 = M/N$, e_0/h , l_0/h , α .

2. Задаются коэффициентом армирования в пределах 0,005...0,035; вычисляют δe , φ и N_{cr} .

Если окажется, что $N_{cr} < N$, размеры сечения элемента следует увеличить.

3. Определяют коэффициент η и находят расстояние от усилия N до арматуры S :

$$e = e_0 \eta + h/2 - a.$$

4. С помощью формулы (4.28), задаваясь ожидаемым отношением A_s/A'_s , определяют высоту сжатой зоны x и затем $\xi = x/h_0$, после чего по формулам (4.29) ... (4.34) подбирают сечения арматуры A_s и A'_s , принимая их не менее минимального значения.

5. Вычисляют коэффициент армирования

$$\mu = (A_s + A'_s)/bh$$

по найденным сечениям арматуры. Если он отличается от исходного не более чем на 0,005, решение можно считать найденным; при большей разнице необходимо сечение пересчитать, задавшись новым коэффициентом армирования.

Если в решении получается $\mu > 0,03$, то следует пересмотреть размеры поперечного сечения b и h или изменить классы бетона и арматуры.

6. Проверяют прочность элемента с учетом влияния продольного изгиба в плоскости, перпендикулярной плоскости изгиба, как для сжатого элемента со случайными эксцентриситетами.

7. Если требуется, проверяют достаточность несущей способности элемента, пользуясь формулами (4.28) и (4.25).

Расчет гибких внецентренно сжатых элементов в плоскости действия момента производится с учетом влияния прогиба элемента на величину эксцентриситета продольной силы.

Помимо учета гибкости, в плоскости действия момента должна быть произведена проверка на устойчивость в плоскости, перпендикулярной плоскости изгиба как для элемента, работающего на осевое сжатие (без учета изгибающего момента), с учетом соответствующего коэффициента продольного изгиба φ .

Влияние прогиба может не учитываться:

а) для сечений любой формы при $\frac{l_0}{r} \leq 35$

б) для прямоугольных сечений при $\frac{l_0}{h} \leq 10$

в) для круглых и кольцевых сечений при $\frac{l_0}{D} \leq 8$

г) для тавровых сечений при $\frac{l_0}{h} \leq 35$

Значения коэффициента φ принимаются по таблице.

Влияние прогиба элемента учитывается путем умножения эксцентриситета e_0 продольного усилия относительно центра тяжести сечения бетона на коэффициент η , определяемый следующим образом:

а) для сечений любой формы

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{m \cdot 4800 R_{\text{н}} F \left(\frac{l_0}{r} \right)^2}};$$

б) для прямоугольных сечений

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{m \cdot 400 R_{\text{н}} F \left(\frac{l_0}{h} \right)^2}}, \quad (1.38)$$

где N — расчетная продольная сила;

F — площадь бетонного сечения;

$l_0 = \psi l$ — расчетная длина элемента;

l — фактическая длина элемента;

ψ — коэффициент, зависящий от степени защемления и подвижности концов элемента, принимаемый таким же, как и для расчета центрально сжатых элементов;

r — радиус инерции сечения;

h — высота сечения, т. е. размер поперечного сечения в плоскости действия изгибающего момента.

Коэффициент η может быть определен по графику.

При расчете прямоугольных сечений внецентренно сжатых элементов значение η принимают по графику в зависимости от величин

$$n_1 = \frac{N}{mbhR_n} \text{ и } \frac{l_0}{h}.$$

При расчете тавровых сечений внецентренно сжатых элементов значения η принимают по графику в зависимости от величин

$$n_1 = \frac{N}{mbhR_n} \rho \text{ и } \frac{l_0}{h}.$$

Значения ρ в зависимости от отношений $\frac{b_n}{b}$ и $\frac{h_n}{h}$ приведены в таблице.

Рекомендуется проектировать внецентренно сжатые элементы так, чтобы отношение $\frac{l_0}{b}$ было не более 30, а отношение $\frac{l_0}{h}$ — не более 25 (рекомендация относится к колоннам зданий). Для несущих элементов сечение менее 25 X 25 см не рекомендуется.