

Служебно-жилое здание

Огнестойкость отдельно стоящей колонны К8 (Конструктивно и объемно-планировочные решения, книга 1, графическая часть, лист 35)

Исходные данные:

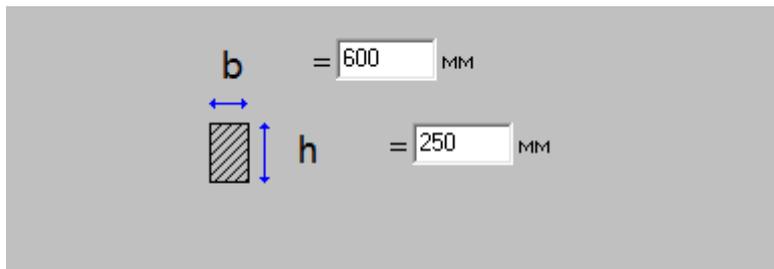
Огнестойкость:

- Длительность стандартного огневого воздействия $T_{ft} = 90$ мин;

Размеры элемента:

- Длина элемента или расстояние между точками закрепления $l = 3400$ мм;

Размеры в сечении, мм:



- Высота сечения $h = 250$ мм;
 - Ширина сечения $b = 600$ мм;

Продольная арматура:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения $a = 50$ мм;

Усилия от нормативной нагрузки:

- Изгибающий момент от постоянной и длительной нормативной нагрузки
 $M_n = 4,65$ тс м = $4,65 / 1,0197162123E-07 = 45600922,53032$ Н мм;
 - Нормальная сила от постоянной и длительной нормативной нагрузки
 $N_n = 83,5$ тс = $83,5 / 0,00010197162123 = 818855,27554$ Н;

Результаты расчета:

Определение нормативного сопротивления бетона

Класс бетона - В25.

Нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы принимается по табл. 5.1 СП 52-101 $R_{bn} = 18,5$ МПа .

Нормативное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы принимается по табл. 5.1 СП 52-101 $R_{btn} = 1,55$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию принимается по табл. 5.2 СП 52-101 $R_b = 14,5$ МПа .

Назначение класса бетона - по прочности на сжатие.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению принимается по табл. 5.2 СП 52-101 $R_{bt} = 1,05$ МПа .

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию для предельных состояний второй группы:

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

	-	зам	01-19		16.08.19
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

01-К-2014-ПБ

$R_{b, ser} = R_{bn} = 18,5$ МПа (формула (5.1); п. 5.1.9 СП 52-101).

Расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению для предельных состояний второй группы:
 $R_{bt, ser} = R_{bтn} = 1,55$ МПа (формула (5.2); п. 5.1.9 СП 52-101).

Учет особенностей работы бетона в конструкции

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий длительность действия нагрузки:
 $\gamma_{b1} = 1$.

(действие нагрузки непродолжительное по п. 4.9)

Конструкция бетонируется - в вертикальном положении.

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий бетонирование в вертикальном положении:
 $\gamma_{b3} = 0,9$.

Для надземной конструкции, при расчетной температуре наружного воздуха в зимний период не менее -40 град.:

Коэффициент условия работы бетона, учитывающий попеременное замораживание и оттаивание бетона:
 $\gamma_{b4} = 1$.

(коэффициенты $\gamma_{b1} - \gamma_{b4}$ по п. 5.1.10 СП 52-101-2003)

Расчетное значение сопротивления бетона осевому сжатию:
 $R_b = \gamma_{b1} \gamma_{b3} \gamma_{b4} R_b = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 14,5 = 13,05$ МПа .

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению:
 $R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 1 \cdot 1,05 = 1,05$ МПа .

Определение значения начального модуля упругости бетона

Начальный модуль упругости принимается по табл. 5.4 СП 52-101 $E_b = 30000$ МПа .

Расчетные значения прочностных характеристик арматуры

Класс продольной арматуры - А400.

Расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению:
 $R_s = 355$ МПа .

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc} = 355$ МПа .

(действие нагрузки непродолжительное по п. 4.9)

Поперечная арматура - не рассматривается в данном расчете.

Нормативное значение сопротивления арматуры растяжению:
 $R_{s, n} = 400$ МПа .

Нормативное значение сопротивления продольной арматуры сжатию:
 $R_{sc, n} = 400$ МПа .

Значение модуля упругости арматуры

Модуль упругости арматуры:
 $E_s = 200000$ МПа .

Приведенные размеры сечений

Тип конструкции - колонна.

Изм. № подл.	Изм. № подл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Взам. инв. №	Взам. инв. №

	-	зам	01-19		16.08.19
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

01-К-2014-ПБ

Бетон - тяжелый на силикатном заполнителе.

Минимальный размер сечения:

$$b_{\min} = \min(b ; h) = \min(600;250) = 250 \text{ мм} .$$

Глубина прогрева бетона до критической температуры:

По рис. 8.2 в зависимости от $T_{\text{кр}}$ и b_{\min}

$$a_t = 44 \text{ мм} .$$

Рабочая высота сечения:

$$h_o = h - a = 250 - 50 = 200 \text{ мм} .$$

Расчетная ширина стенки сечения при нагреве:

$$b_t = b - 2 a_t = 600 - 2 \cdot 44 = 512 \text{ мм (формула (8.1); п. 8.2) .}$$

Расчетная высота сечения при нагреве:

$$h_t = h - 2 a_t = 250 - 2 \cdot 44 = 162 \text{ мм (формула (8.6); п. 8.2) .}$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{\text{ред}} = 0,9 (b - 2 a_t) (h - 2 a_t) = \\ = 0,9 \cdot (600 - 2 \cdot 44) \cdot (250 - 2 \cdot 44) = 74649,6 \text{ мм}^2 \text{ (формула (8.5); п. 8.2) .}$$

Расчетная рабочая высота сечения:

$$h_{ot} = h_o - a_t = 200 - 44 = 156 \text{ мм (формула (8.8); п. 8.2) .}$$

Расчет эксцентриситета продольной силы

Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S' до грани сечения:

$$a' = a = 50 \text{ мм} .$$

Продольная сила:

$$N = N_n = 818855,27554 \text{ Н} = 83,5 \text{ тс} .$$

Изгибающий момент:

$$M = M_n = 45600922,53032 \text{ Н мм} = 4,65 \text{ тс м} .$$

Случайный эксцентриситет:

$$e_a = \max(l/600 ; h/30 ; 10) = \max(3400/600;250/30;10) = 10 \text{ мм} .$$

Элемент - статически неопределимой конструкции.

Для элементов статически неопределимых конструкций значение эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения принимают равным значению эксцентриситета, полученного из статического расчета, но не менее e_a .

Эксцентриситет продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения:

$$e_o = M/N = 45600920/818855,3 = 55,68862 \text{ мм} .$$

Продолжение расчета по п. п. 8.16 СТО 36554501-006-2006

Коэффициент:

$$\delta_e = e_o/h_t = 55,68862/162 = 0,34376 .$$

Закрепление по концам элемента - жесткие заделки.

Расчетная длина элемента:

$$l_o = 0,5 l = 0,5 \cdot 3400 = 1700 \text{ мм} .$$

В формуле $\phi_1 = 1 + M_{11}/M_1$ (8.32) отношение $M_{11}/M_1 = 1$, т.к по п.п. 4.8 и 4.9 статический расчет предела огнестойкости по потере несущей способности выполняется при непродолжительном действии постоянных и

Изм. № подл.	Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Подп. и дата						
Взам. инв. №						

	-	зам	01-19		16.08.19	
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

01-К-2014-ПБ

Лист

4

временных длительных нормативных нагрузок (в данном сочетании нагрузок момент от полной нагрузки M_1 равен моменту от постоянных и временных нагрузок M_{11}).

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:
 $\varphi_1 = 2$.

Момент инерции бетонного сечения относительно центра тяжести приведенного сечения:
 $I = b_t h_t^3 / 12 = 512 \cdot 162^3 / 12 = 181398528 \text{ мм}^4$.

Момент инерции всей продольной арматуры относительно центра тяжести сечения элемента:
 $I_s = A_s (h - 2a)^2 / 2 = 804 \cdot (250 - 2 \cdot 50)^2 / 2 = 9045000 \text{ мм}^4$.

Определение E_{st}

Расстояние от обогреваемой поверхности:
 $z = a = 50 \text{ мм}$.

Теплотехнический расчет выполняется - по СТО 36554501-006-2006.

Температура бетона на расстоянии z от обогреваемой поверхности в углу сечения

Т.к. $h = 250 \text{ мм} > 200 \text{ мм}$ и $h = 250 \text{ мм} < 300 \text{ мм}$:

Температура прогрева при $h = 200 \text{ мм}$:
 По рис. Б.1 - Б.2 в зависимости от z и T_{ft}
 $t_{h200} = 559 \text{ °C}$.

Температура прогрева при $h = 300 \text{ мм}$:
 По рис. Б.3 в зависимости от z и T_{ft}
 $t_{h300} = 543,3333 \text{ °C}$.

Температура на расстоянии z от обогреваемой поверхности:
 $t_z = t_{h200} + (t_{h300} - t_{h200}) (h - 200) / 100 =$
 $= 559 + (543,3333 - 559) \cdot (250 - 200) / 100 = 551,16665 \text{ °C}$.

Конструкция - не является туннелем, в котором перевозят горючие жидкости или газы.

Конструкция - не предназначена для хранения каучука, синтетических материалов, масел, лаков, красок, сжиженного газа, бумаги, зерна или муки.

Характеристики арматуры при нагреве

Арматура A's - имеется.

Элемент - внецентренно-сжатый.

Для арматуры A's:

Расстояние от обогреваемой поверхности:
 $z = a' = 50 \text{ мм}$.

Коэффициент условия работы растянутой арматуры при нагреве принимается по табл. 5.5 $\gamma_{st} = 0,48232$.

Коэффициент условия работы сжатой арматуры при нагреве:
 $\gamma'_{st} = \gamma_{st} = 0,48232$.

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры сжатию при нагреве:
 $R_{sct} = R_{sc} \gamma'_{st} = 355 \cdot 0,48232 = 171,2236 \text{ МПа}$ (формула (5.9); п. 5.10).

По табл. 5.5 $\beta_s = 0,78465$.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

	-	зам	01-19		16.08.19
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

01-К-2014-ПБ

Модуль упругости арматуры при нагреве:
 $E_{st} = E_s \beta_s = 200000 \cdot 0,78465 = 156930 \text{ МПа}$ (формула (5.10); п. 5.10).

Для арматуры A_s :

Расстояние от обогреваемой поверхности:
 $z = a = 50 \text{ мм}$.

Коэффициент условия работы растянутой арматуры при нагреве принимается по табл. 5.5 $\gamma_{st} = 0,48232$.

Коэффициент условия работы сжатой арматуры при нагреве:
 $\gamma'_{st} = \gamma_{st} = 0,48232$.

Нормативное значение сопротивления арматуры растяжению при нагреве:
 $R_{snt} = R_{s, n} \gamma_{st} = 400 \cdot 0,48232 = 192,928 \text{ МПа}$ (формула (5.8); п. 5.10).

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры растяжению при нагреве:
 $R_{st} = R_s \gamma_{st} = 355 \cdot 0,48232 = 171,2236 \text{ МПа}$ (формула (5.8); п. 5.10).

Нормативное значение сопротивления арматуры растяжению при нагреве:
 $R_{snt} = R_{s, n} \gamma_{st} = 400 \cdot 0,48232 = 192,928 \text{ МПа}$ (формула (5.8); п. 5.10).

Расчетное значение сопротивления продольной арматуры растяжению при нагреве:
 $R_{st} = R_s \gamma_{st} = 355 \cdot 0,48232 = 171,2236 \text{ МПа}$ (формула (5.8); п. 5.10).

Расчет по несущей способности

Определение E_{bt} в центре тяжести приведенного сечения

Расстояние от обогреваемой поверхности:
 $z = h/2 = 250/2 = 125 \text{ мм}$.

Температура бетона на расстоянии z от обогреваемой поверхности по оси сечения

Т.к. $h = 250 \text{ мм} > 200 \text{ мм}$ и $h = 250 \text{ мм} < 300 \text{ мм}$:

Температура прогрева при $h = 200 \text{ мм}$:
 По рис. Б.1 - Б.2 в зависимости от z и T_{ft}
 $t_{h200} = 317 \text{ }^\circ\text{C}$.

Температура прогрева при $h = 300 \text{ мм}$:
 По рис. Б.3 в зависимости от z и T_{ft}
 $t_{h300} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$.

Температура на расстоянии z от обогреваемой поверхности:
 $t_z = t_{h200} + (t_{h300} - t_{h200}) (h - 200) / 100 =$
 $= 317 + (120 - 317) \cdot (250 - 200) / 100 = 218,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Определение модуля упругости бетона при нагреве

По табл. 5.1 $\beta_b = 0,663$.

Начальный модуль упругости при нагреве:
 $E_{bt} = E_b \beta_b = 30000 \cdot 0,663 = 19890 \text{ МПа}$ (формула (5.3); п. 5.4).

Дополнительный эксцентриситет продольной от огневого воздействия:
 $e_t = 0 \text{ мм}$.

(для отдельностоящих колонн)

Изгибная жесткость:

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

	-	зам	01-19		16.08.19
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

01-К-2014-ПБ

$D = 0,15 E_{bt} I / (\varphi_l (0,3 + \delta_e)) + 0,7 E_{st} I_s =$
 $= 0,15 \cdot 19890 \cdot 181398500 / (2 \cdot (0,3 + 0,34376)) + 0,7 \cdot 156930 \cdot 9045000 = 1413947163235,06 \text{ Н мм}^2$ (формула (8.31); п. 8.16).

Критическая сила:
 $N_{cr} = \pi^2 D / l_0^2 = 3,14159^2 \cdot 1413947000000 / 1700^2 = 4828753,47201 \text{ Н} = 492,4 \text{ тс}$ (формула (8.30); п. 8.16).

$N = 818855,3 \text{ Н} = 83,5 \text{ тс} < N_{cr} = 4828754 \text{ Н} = 492,39587 \text{ тс}$ (16,9579% от предельного значения) - условие выполнено.

Коэффициент, учитывающий влияние прогиба:
 $\eta = 1 / (1 - N / N_{cr}) = 1 / (1 - 818855,3 / 4828754) = 1,20421$ (формула (8.29); п. 8.16).

Расстояние от точки приложения силы N до центра тяжести сечения арматуры S:
 $e = e_0 \eta + 0,5 (h_{от} - a') + e_t =$
 $= 55,68862 \cdot 1,20421 + 0,5 \cdot (156 - 50) + 0 = 120,06079 \text{ мм}$ (формула (8.27); п. 8.16).

Определение граничной относительной высоты сжатой зоны

$\epsilon_{s, el} = R_{st} / E_{st} = 171,2236 / 156930 = 0,00109$ (формула (6.12); п. 6.2.7 СП 52-101).

$\epsilon_{b, ult} = 0,0035$.

Граничная относительная высота сжатой зоны:
 $\xi_R = 0,8 / (1 + \epsilon_{s, el} / \epsilon_{b, ult}) =$
 $= 0,8 / (1 + 0,00109 / 0,0035) = 0,61002$ (формула (6.11); п. 6.2.7 СП 52-101).

Расчет по прочности внецентренно-сжатых элементов с симметричным прямоугольным сечением

Площадь сжатой арматуры:
 $A'_s = A_s = 804 \text{ мм}^2$.

Т.к. $e_0 = 55,68862 \text{ мм} > h / 30 = 250 / 30 = 8,33333 \text{ мм}$:

Расчет внецентренно-сжатых элементов прямоугольного сечения

Высота сжатой зоны:
 $x = (N + R_{snt} A_s - R_{sct} A'_s) / (R_{bn} b_t) =$
 $= (818855,3 + 192,928 \cdot 804 - 171,2236 \cdot 804) / (18,5 \cdot 512) = 88,2924 \text{ мм}$ (формула (8.25); п. 8.15).

Относительная высота сжатой зоны:
 $\xi = x / h_0 = 88,2924 / 200 = 0,44146$.

$\xi = 0,44146 \leq \xi_R = 0,61002$ (72,36812% от предельного значения) - условие выполнено.

$N e = 818855,3 \cdot 120,0608 = 98312422,40224 \text{ Н мм} = 10,02508 \text{ тс м} \leq R_{bn} b_t x (h_{от} - 0,5 x) + R_{sct} A'_s (h_0 - a') = 18,5 \cdot 512 \cdot 88,2924 \cdot (156 - 0,5 \cdot 88,2924) + 171,2236 \cdot 804 \cdot (200 - 50) = 114193526,91301 \text{ Н мм} = 11,6445 \text{ тс м}$ (86,09282% от предельного значения) - условие выполнено (формула (8.24); п. 8.15).

Нагрев колонны - четырехсторонний.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			-	зам	01-19	16.08.19	01-К-2014-ПБ
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата		