**Расчет железобетонных конструкций с учетом огнестойкости**

Определить предел огнестойкости жестко закрепленной прямоугольной железобетонной колонны высотой в свету 3200 мм, сечением 300 × 300 мм, выполненную из бетона класса по прочности С30/35, армированную симметрично 4 арматурными стержнями St500 диаметром 25 мм с защитным слоем бетона 35 мм, воспринимающую осевую нагрузку 1720 кН и изгибающие разнонаправленные моменты у верха и низа колонны 40,5 кН·м. Колонна подвергается воздействию пожара с 4 сторон.

Рассчитываем по методу А.

расчетная длина колонны может быть принята для жесткого защемления как:

lo=0,5l= 3,2/2 =1,6 м

Гибкость колонны в соответствии с Формулой (5.14) СН РК EN 1992-1-1:2004/2011:

λ = $\frac{l\_{o}}{h/\sqrt{12}}$ = $\frac{1,6}{\frac{0,3}{\sqrt{12}}}$ = 18,47

Максимальный изгибающий момент в сечении колонны

Mmax = M+N ·ei = M+N·lo/400 = 40,5 + 1720·1,6/400 = 47,38 кНм

Эксцентриситет по теории первого рода при пожаре:

e=Mmax/N = 47,38/1720 = 27,55 мм < 0,15h = 0,15 ·0,3 =45 мм < 100 мм

Проверка армирования:

As = 4·π·d2/4 = 4·3,14·252/4=1962,5 мм20,04*A*c = 0,04 ·3002= 3600мм2.

Коэффициент использования несущей способности при пожаре:

fi = NEd,fi/NRd = $\frac{N\_{Ed,fi}}{\frac{A\_{c}·α·f\_{cd}}{γ\_{c}}+ \frac{A\_{s}·f\_{yk} }{γ\_{s}}}$ = $\frac{1720·1000}{\frac{300\*300\*0,85\*30}{1,5}+ \frac{1962\*500}{1,15}}$ = 0,68

где *N*Еd,fi – расчетное продольное усилие при пожаре;

*N*Rd – расчетная несущая способность колонны при нормальной температуре;

*N*Rd определяется по, принимая М для нормальной температуры, с учетом воздействий по теории второго рода и начального эксцентриситета, суммируемого с эксцентриситетом *N*Ed,fi.

Расстояние до оси арматуры составляет а=35+25/2 = 47,5 мм

Коэффициент армирования при нормальной температуре:

ω = $\frac{А\_{s }·f\_{yd}}{A\_{c}·f\_{cd}}$ = $\frac{A\_{s}·f\_{yk}}{A\_{c}·α·f\_{ck}}$ ·$\frac{γ\_{c}}{γ\_{s}}$ = $\frac{1962,5·500}{300^{2}·0,85·30} ·\frac{1,5}{1,15}$ = 0,56

Здесь:

Ac – площадь поперечного сечения бетона;

As – площадь поперечного сечения арматуры;

fyd – расчетное значение предела текучести арматуры;

fyk – характеристическое значение предела текучести арматуры; fcd – расчетное значение предела прочности бетона при осевом сжатии;

fck – характеристическая цилиндрическая прочность бетона на сжатие в возрасте

28 сут; γS – частный коэффициент безопасности для арматуры и напрягаемой арматуры;

γC – частный коэффициент безопасности для бетона;

αсс – коэффициент, учитывающий длительное действие нагрузки и неблагоприятный

способ ее приложения (0,85);

Предел огнестойкости 1:

Rnfi = 83·[1-μ6 ·$\frac{1+ω}{\left({0,85}/{α}\right)+ω}$]=83· [1- 0,68·$\frac{1+0,56}{\left(\frac{0,85}{0,85}\right)+0,56}]$= 26,56

25 ≤ а = 47,5 ≤ 80;

Предел огнестойкости 2:

Ra = 1,6 ⋅(a − 30) = 1,6× (47,5− 30) = 28.

*l*0,fi – расчетная длина колонны при пожаре, 2м < *l*0,fi ≤ 6м. Условие не соблюдается, поэтому в соответствии с СН РК ЕN (огнестойкость ЖБК), если *l*0,fi < 2 м, следует принимать *l*0,fi = 2 м.

Пределы огнестойкости 3 и 4:

RI = 9,6⋅(5−l0, fi) = 9,6×(5− 2,0) = 28,8

Rb=0,09bI = 0,09·$\frac{2Ac}{b+h}$ = 0,09 ·$\frac{2 300\* 300}{300+300} $= 27

Rn = 0 если n = 4 (только угловые стержни);

 Rn = 12 если n >4. В нашем случае Rn = 0

Предел огнестойкости:

R=120·($\frac{R\_{nfi}+R\_{a}+R\_{I}+R\_{b}+R\_{n}}{120}$)1,8 = 120\* ($\frac{26,56+28+28,8+27+0}{120}$)1,8 = 103

Вывод: предел огнестойкости колонны, определенный по 10.20 СН РК ЕN (огнестойкость ЖБК) по ближайшему значению составляет R90.

R90 – предел огнестойкости по потере несущей способности, соответствующий 90 мин стандартного температурного режима пожара. По СН РК ЕN (огнестойкость ЖБК) регламентируются R30, R60, R90, R120, R180, R240

Литература:

НТП РК 02-01.2-2012 (к СН РК EN 1992-1-2:2004/2011) Проектирование железобетонных конструкций с учетом огнестойкости. Астана, КазНИИСА, 2015 – 289с.

Таблица 1 - Прочностные и деформационные характеристики бетона (по НТП РК 02-01-1.1-2011)

|  |
| --- |
| Классы прочности бетона |
| fck, МПа | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| 𝑓𝑐𝑘,𝑐𝑢𝑏𝑒, МПа | 15 | 20 | 25 | 30 | 37 | 45 | 50 | 55 | 60 | 67 | 75 | 85 | 95 | 105 |
| 𝑓𝑐𝑚, МПа | 20 | 24 | 28 | 33 | 38 | 43 | 48 | 53 | 58 | 63 | 68 | 78 | 88 | 98 |
| 𝑓𝑐𝑡𝑚, МПа | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,6 | 2,9 | 3,2 | 3,5 | 3,8 | 4,1 | 4,2 | 4,4 | 4,6 | 4,8 | 5,0 |
| fctk,0,05, МПа | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 2.9 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,4 | 3,5 |
| fctk,0,95, МПа | 2,0 | 2,5 | 2,9 | 3,3 | 3,8 | 4,2 | 4,6 | 4,9 | 5,3 | 5,5 | 5,7 | 6,0 | 6,3 | 6,6 |
| 𝐸𝑐𝑚, ГПа | 27 | 29 | 30 | 31 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 41 | 42 | 44 |
| c1, ‰ | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,25 | 2,3 | 2,4 | 2,45 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,8 |
| cu1, ‰ | 3,5 | 3,2 | 3,0 | 2,8 | 2,8 | 2,8 |
| c2, ‰ | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 |
| cu2, ‰ | 3,5 | 3,1 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 2,6 |
| n | 2,0 | 1,75 | 1,6 | 1,45 | 1,4 | 1,4 |
| c3, ‰ | 1,75 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 2,3 |
| cu3,‰ | 3,5 | 3,1 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 2,6 |

Таблица 2 - Характеристики ненапрягаемой арматуры

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс арматур ы | Номина льный диамет р, мм | Вид поверхности | 𝑘 = 𝑓𝑡𝑘𝑓𝑦𝑘 | 𝑓𝑦𝑘(*f*0,2*k*), Н/мм2 | 𝑓𝑦𝑑 (*f*0,2*d*), Н/мм2 | 𝑓𝑦𝑤𝑑, Н/мм2 |
| S240 | 5,5 - 40 | Гладкая | 1,5 | 240 | 209 | 167\* | 150 |
| S400 | 6 - 40 | Периодическог о профиля | 1,25-1,5 | 400 | 348 | 279\* | 251 |
| S500 | 6 - 40 | Периодического профиля | 1,2 | 500 | 435(410)\*\* | 348\* (328)\*\* | 313 (295)\*\* |
| \* Для случая применения в вязаных каркасах.\*\* В скобках приведены значения для проволочной арматуры. |

Сортамент арматуры (ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Пособие к СП 52-101-2003)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номинальный диаметр стержня, мм | Расчетная площадь поперечного стержня, мм2, при числе стержней | Теоретическаямасса 1 м длиныарматуры, кг  | Диаметрклассов арматуры | Макс.размерсеченияпериодического профиля |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | А240А400А500 | А300 | В500 |
| 3  | 7,1  | 14,1  | 21,2  | 28,3  | 35,3  |  42,4  | 49,5  | 56,5  | 63,6  | 0,052 | - | - | + | - |
| 4  | 12,6  |  25,1  | 37,7  | 50,2  | 62,8  | 75,4 | 87,9  | 100,5  | 113  | 0,092 | - | - | + | - |
| 5  | 19,6 |  39,3 | 58,9  |  78,5 |  98,2 | 117,8  | 137,5  | 157,1  | 176,7  | 0,144  | - | - | + | - |
| 6  | 28,3 | 57 | 85 | 113  | 141  | 170  | 198 | 226 | 254 | 0,222  | + | - | + | 6,75 |
| 8  | 50,3  | 101  |  151  | 201  | 251  |  302  | 352  | 402  | 453  | 0,395 | + | - | + | 9,00 |
| 10  | 78,5  |  157  | 236  | 314  | 393  | 471  | 550  | 628  | 707  | 0,617  | + | + | + | 11,3 |
| 12  | 113,1 | 226  | 339  | 452  | 565  | 679  | 792  | 905  | 1018  | 0,888  | + | + | + | 13,5 |
| 14  | 153,9  | 308  | 462  |  616  | 769  | 923  | 1077  | 1231  | 1385  | 1,208  | + | + | - | 15,5 |
| 16  | 201,1 |  402  | 603  | 804  | 1005  |  1206  |  1407  |  1608  | 1810  | 1,578  | + | + | - | 18,0 |
| 18  | 254,5  | 509  | 763  |  1018  | 1272  | 1527  | 1781  | 2036  |  2290  | 1,998  | + | + | - | 20,0 |
| 20  | 314,2  | 628  | 942  | 1256  | 1571  |  1885  |  2199  | 2513  | 2828  | 2,466  | + | + | - | 22,0 |
| 22  | 380,1  | 760  | 1140  | 1520  | 1900  |  2281  |  2661  |  3041  |  3421  | 2,984  | + | + | - | 24,0 |
| 25  | 490,9 | 982  | 1473  | 1963  | 2454  | 2945  | 3436  | 3927  | 4418  | 3,84  | + | + | - | 27,0 |
| 28  | 615,8  | 1232  | 1847  | 2463  | 3079 | 3695 | 4310  | 4926  | 5542  | 4,83  | + | + | - | 30,5 |
| 32  | 804,3  | 1609  | 2413  | 3217 | 4021  | 4826  | 5630  | 6434  | 7238  | 6,31  | + | + | - | 34,5 |
| 36 | 1017,9 | 2036 | 3054 | 4072 | 5089 | 6107 | 7125  | 8143  | 9161 | 7,99  | + | + | - | 39,5 |
| 40  | 1256,6 | 2513 | 3770 | 5027  | 6283 | 7540  | 8796  | 10053  | 11310 | 9,865  | + | + | - | 43,5 |

Примечания: 1. Номинальный диаметр стержней для арматурных сталей периодического профиля соответствует номинальному диаметру

равновеликих по площади поперечного сечения гладких стержней. Фактические размеры стержней периодического профиля

устанавливаются ГОСТ 5781-91

2. Знак "+" означает наличие диаметра в сортаменте для арматуры данного класса.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **b, мм** | **h, мм** | **M, кНм** | **N, кН** | **Высота стойки, м** | **Класс бетона** | **Защитный слой бетона** | **Арматура**  |
| **СЭЗ-21** |
| 1 | 390 | 450 | 80 | 1500 | 3,0 | С25/30 | 20 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 2 | 410 | 460 | 82 | 1540 | 3,0 | С25/30 | 23 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 3 | 420 | 480 | 85 | 1580 | 3,0 | С25/30 | 25 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 4 | 430 | 490 | 88 | 1620 | 3,0 | С25/30 | 28 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 5 | 440 | 500 | 92 | 1660 | 3,0 | С25/30 | 30 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 6 | 450 | 510 | 95 | 1700 | 3,15 | С25/30 | 33 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 7 | 460 | 520 | 97 | 1740 | 3,15 | С25/30 | 35 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 8 | 470 | 530 | 100 | 1780 | 3,15 | С25/30 | 20 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 9 | 480 | 540 | 103 | 1820 | 3,15 | С25/30 | 23 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 10 | 490 | 550 | 105 | 1860 | 3,15 | С25/30 | 25 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 11 | 390 | 450 | 107 | 1900 | 3,2 | С25/30 | 28 мм | 6Ø 28 |
| 12 | 410 | 460 | 110 | 1940 | 3,2 | С25/30 | 30 мм | 6Ø 28 |
| 13 | 420 | 480 | 112 | 1980 | 3,2 | С25/30 | 33 мм | 6Ø 28 |
| 14 | 430 | 490 | 115 | 2020 | 3,2 | С25/30 | 35 мм | 6Ø 28 |
| 15 | 440 | 500 | 118 | 2060 | 3,2 | С25/30 | 20 мм | 6Ø 28 |
| 16 | 450 | 510 | 120 | 2100 | 3,2 | С25/30 | 23 мм | 6Ø 28 |
| 17 | 460 | 520 | 123 | 2140 | 3,2 | С25/30 | 25 мм | 6Ø 28 |
| 18 | 470 | 530 | 125 | 2180 | 3,2 | С25/30 | 28 мм | 6Ø 28 |
| 19 | 480 | 540 | 128 | 2220 | 3,2 | С25/30 | 30 мм | 6Ø 28 |
| 20 | 490 | 550 | 131 | 2260 | 3,2 | С25/30 | 33 мм | 6Ø 28 |
| 21 | 390 | 450 | 133 | 2300 | 3,3 | С25/30 | 35 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 22 | 410 | 460 | 136 | 2340 | 3,3 | С25/30 | 20 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 23 | 420 | 480 | 140 | 2380 | 3,3 | С25/30 | 23 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 24 | 430 | 490 | 143 | 2420 | 3,3 | С25/30 | 25 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 25 | 440 | 500 | 145 | 2460 | 3,3 | С25/30 | 28 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 26 | 450 | 510 | 148 | 2500 | 3,4 | С25/30 | 30 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 27 | 460 | 520 | 152 | 2540 | 3,4 | С25/30 | 33 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 28 | 470 | 530 | 155 | 2580 | 3,4 | С25/30 | 35 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 29 | 480 | 540 | 158 | 2620 | 3,4 | С25/30 | 20 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| **СЭЗ-22** |
| 1 | 490 | 550 | 161 | 2660 | 3,4 | С25/30 | 23 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 2 | 390 | 450 | 80 | 1500 | 3,5 | С30/35 | 25 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 3 | 410 | 460 | 82 | 1540 | 3,5 | С30/35 | 28 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 4 | 420 | 480 | 85 | 1580 | 3,5 | С30/35 | 30 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 5 | 430 | 490 | 88 | 1620 | 3,5 | С30/35 | 33 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 6 | 440 | 500 | 92 | 1660 | 3,5 | С30/35 | 35 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 7 | 450 | 510 | 95 | 1700 | 3,5 | С30/35 | 20 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 8 | 460 | 520 | 97 | 1740 | 3,5 | С30/35 | 23 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 9 | 470 | 530 | 100 | 1780 | 3,5 | С30/35 | 25 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 10 | 480 | 540 | 103 | 1820 | 3,5 | С30/35 | 28 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 11 | 490 | 550 | 105 | 1860 | 3,5 | С30/35 | 30 мм | 6Ø 28 |
| 12 | 390 | 450 | 107 | 1900 | 3,6 | С30/35 | 33 мм | 6Ø 28 |
| 13 | 410 | 460 | 110 | 1940 | 3,6 | С30/35 | 35 мм | 6Ø 28 |
| 14 | 420 | 480 | 112 | 1980 | 3,6 | С30/35 | 20 мм | 6Ø 28 |
| 15 | 430 | 490 | 115 | 2020 | 3,6 | С30/35 | 23 мм | 6Ø 28 |
| 16 | 440 | 500 | 118 | 2060 | 3,6 | С30/35 | 25 мм | 6Ø 28 |
| 17 | 450 | 510 | 120 | 2100 | 3,2 | С30/35 | 28 мм | 6Ø 28 |
| 18 | 460 | 520 | 123 | 2140 | 3,2 | С30/35 | 30 мм | 6Ø 28 |
| 19 | 470 | 530 | 125 | 2180 | 3,2 | С30/35 | 33 мм | 6Ø 28 |
| 20 | 480 | 540 | 128 | 2220 | 3,2 | С30/35 | 35 мм | 6Ø 28 |
| 21 | 490 | 550 | 131 | 2260 | 3,2 | С30/35 | 20 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 22 | 390 | 450 | 133 | 2300 | 3,2 | С30/35 | 23 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 23 | 410 | 460 | 136 | 2340 | 3,2 | С30/35 | 25 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 24 | 420 | 480 | 140 | 2380 | 3,2 | С30/35 | 28 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 25 | 430 | 490 | 143 | 2420 | 3,2 | С30/35 | 30 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 26 | 440 | 500 | 145 | 2460 | 3,2 | С30/35 | 33 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 27 | 450 | 510 | 148 | 2500 | 3,2 | С30/35 | 35 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 28 | 460 | 520 | 152 | 2540 | 3,2 | С30/35 | 20 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 29 | 470 | 530 | 155 | 2580 | 3,2 | С30/35 | 23 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| **СЭЗ-23** |
| 1 | 480 | 540 | 158 | 2620 | 3,2 | С30/35 | 25 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 2 | 490 | 550 | 161 | 2660 | 3,2 | С30/35 | 28 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 3 | 390 | 450 | 80 | 1500 | 3,3 | С35/40 | 30 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 4 | 410 | 460 | 82 | 1540 | 3,3 | С35/40 | 33 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 5 | 420 | 480 | 85 | 1580 | 3,3 | С35/40 | 35 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 6 | 430 | 490 | 88 | 1620 | 3,3 | С35/40 | 20 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 7 | 440 | 500 | 92 | 1660 | 3,3 | С35/40 | 23 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 8 | 450 | 510 | 95 | 1700 | 3,3 | С35/40 | 25 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 9 | 460 | 520 | 97 | 1740 | 3,3 | С35/40 | 28 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 10 | 470 | 530 | 100 | 1780 | 3,3 | С35/40 | 30 мм | 4Ø 25 +2Ø28 |
| 11 | 480 | 540 | 103 | 1820 | 3,3 | С35/40 | 33 мм | 6Ø 28 |
| 12 | 490 | 550 | 105 | 1860 | 3,9 | С35/40 | 35 мм | 6Ø 28 |
| 13 | 390 | 450 | 107 | 1900 | 3,9 | С35/40 | 20 мм | 6Ø 28 |
| 14 | 410 | 460 | 110 | 1940 | 3,9 | С35/40 | 23 мм | 6Ø 28 |
| 15 | 420 | 480 | 112 | 1980 | 3,9 | С35/40 | 25 мм | 6Ø 28 |
| 16 | 430 | 490 | 115 | 2020 | 3,9 | С35/40 | 28 мм | 6Ø 28 |
| 17 | 440 | 500 | 118 | 2060 | 3,9 | С35/40 | 30 мм | 6Ø 28 |
| 18 | 450 | 510 | 120 | 2100 | 3,9 | С35/40 | 33 мм | 6Ø 28 |
| 19 | 460 | 520 | 123 | 2140 | 3,9 | С35/40 | 35 мм | 6Ø 28 |
| 20 | 470 | 530 | 125 | 2180 | 3,9 | С35/40 | 20 мм | 6Ø 28 |
| 21 | 480 | 540 | 128 | 2220 | 3,9 | С35/40 | 23 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 22 | 490 | 550 | 131 | 2260 | 3,9 | С35/40 | 25 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 23 | 390 | 450 | 133 | 2300 | 4,15 | С35/40 | 28 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 24 | 410 | 460 | 136 | 2340 | 4,15 | С35/40 | 30 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 25 | 420 | 480 | 140 | 2380 | 4,15 | С35/40 | 33 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 26 | 430 | 490 | 143 | 2420 | 4,2 | С35/40 | 35 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 27 | 440 | 500 | 145 | 2460 | 4,2 | С35/40 | 20 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 28 | 450 | 510 | 148 | 2500 | 4,2 | С35/40 | 23 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |
| 29 | 390 | 450 | 80 | 1500 | 4,2 | С35/40 | 25 мм | 4Ø 28 +2Ø32 |