

2.2.4. Расчеты по эксплуатационной пригодности (SLS)

2.2.4.1. Расчет ширины раскрытия трещин

Методика расчета ширины раскрытия трещин приведена в [5, п. 7.3.4].

Предельное значение w_{\max} для расчетной ширины раскрытия w_k должно быть установлено с учетом предполагаемого назначения и вида конструкции, а также расходов на ограничение трещинообразования [5, табл. 7.1N].

При практически постоянном сочетании нагрузок для класса эксплуатации конструкции XC1 $w_{\max} = 0,4$ мм. Расчет выполняется на действие длительной нормативной нагрузки.

Ширина раскрытия трещин определяется по формуле

$$w_k = s_{r,\max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}),$$

где $s_{r,\max}$ — максимальное расстояние между трещинами; ε_{sm} — средние относительные деформации арматуры при определяющем сочетании воздействий, включая влияние вынужденных деформаций и учитывая работу бетона на растяжение; ε_{cm} — средние относительные деформации бетона между трещинами.

Значение $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ определяется по формуле

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{s,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{s,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s},$$

где $\sigma_s = \frac{q_2}{q_1} \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} f_{yd} = \frac{14,37}{20,54} \cdot \frac{683,2}{760} \cdot 348 = 219$ МПа — напряжение в растянутой арматуре сечения с трещиной; $q_1 = 20,54$ кН/м — расчетная нагрузка на плиту (см. п. 2.2.3.5.1); $q_2 = 14,37$ кН/м — нормативная длительная нагрузка на плиту (см. п. 2.2.3.5.1); $A_{s,req} = 683,2$ мм² — требуемая площадь продольной арматуры (см. п. 2.2.3.5.2); $A_{s,prov} = 760$ мм² — фактическая площадь продольной арматуры (см. п. 2.2.3.5.2); k_t — коэффициент, зависящий от длительности действия нагрузки. При длительном действии нагрузки $k_t = 0,4$; $f_{ct,eff}$ — среднее значение прочности бетона при растяжении, когда впервые может произойти возникновение трещин [5, п. 7.3.2(2)], $f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2,6$ МПа; здесь f_{ctm} — среднее значение предела прочности бетона при осевом растяжении [5, табл. 3.1];

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{2 \cdot 10^5}{31 \cdot 10^3} = 6,45,$$

где E_s — расчетное значение модуля упругости арматуры, для A400 $E_s = 2 \cdot 10^5$ МПа; E_{cm} — секущий модуль упругости бетона, для C25/30 $E_{cm} = 31 \cdot 10^3$ МПа [5, табл. 3.1];

$$\rho_{s,eff} = \frac{A_{s,prov}}{A_{c,eff}} = \frac{760}{15050} = 0,05,$$

здесь $A_{s,prov} = 760$ мм² — площадь поперечного сечения арматуры; $A_{c,eff}$ — эффективная площадь растянутого бетона, окружающего арматуру или напрягающие элементы, с высотой $h_{c,eff}$, причем $h_{c,eff}$ принимается как меньшее значение:

$$2,5 (h - d); (h - x) / 3; h / 2 [5, рис. 7.1].$$

Таблица 6.1 - Прочностные и деформационные характеристики бето

Классы прочности бетона														
f_{ck} , МПа	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$, МПа	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} , МПа	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{ctm} , 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
$f_{ctk,0,05}$, 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
$f_{ctk,0,95}$, 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
E_{cm} , ГПа	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44
ϵ_{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

2. Расчет сборной железобетонной плиты

Методика вычисления x приведена в п. 3.2.2.6. В данном случае

$$A_{c,eff} = 2,5(h-d)b_w = 2,5(450 - 407)140 = 15050 \text{ мм}^2.$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{219 - 0,4 \cdot \frac{2,6}{0,05} \cdot (1 + 6,45 \cdot 0,05)}{2 \cdot 10^5} = 0,001 > 0,6 \cdot \frac{219}{2 \cdot 10^5} = 0,00066.$$

Максимальное расстояние между трещинами [5, п. 7.3.4(3)]

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \varnothing / \rho_{s,eff},$$

где \varnothing — диаметр стержня (22 мм); $c = c_{nom}$ — защитный слой бетона для продольной арматуры (32 мм); k_1 — коэффициент, учитывающий свойства сцепления арматуры, $k_1 = 0,8$ — для арматуры периодического профиля; k_2 — коэффициент, учитывающий распределение относительных деформаций, $k_2 = 0,5$ — для изгиба; $k_3 = 3,4$; $k_4 = 0,425$.

$$s_{r,max} = 3,4 \cdot 32 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 22 / 0,05 = 183,6 \text{ мм}.$$

Ширина раскрытия трещин

$$w_k = 183,6 \cdot 0,001 = 0,184 \text{ мм} < w_{max} = 0,4 \text{ мм (по нормам РФ: } a_{cr} = 0,34 \text{ мм)}.$$