

Ранний срок окончания работы

$$t_{ij}^{PO} = t_{ij}^{PH} + t_{ij}$$

Поздний срок окончания работы

$$t_{ij}^{ПО} = t_i^П - T_{кр} - \max\{t[L(j, n)]\}$$

Поздний срок начала работы

$$t_{ij}^{PH} = t_{ij}^{ПО} - t_{ij}.$$

Заключение

Экономическая эффективность от внедрения сетевых графиков определяется в первую очередь возможностями уменьшения общего цикла работ и сокращением затрат за счет более рационального использования трудовых, материальных и денежных ресурсов.

Уменьшение длительности комплекса работ обеспечивает сокращение сроков окупаемости инвестиций и более раннему введению сооружения в эксплуатацию.

УДК 624.21

УТОЧНЕНИЕ ДОПУСКАЕМЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Копачель Т.С.

(Научный руководитель - Пастушков Г.П.)

Кафедра «Мосты и тоннели» БНТУ

Аннотация

Данная статья посвящена уточнению допускаемых отклонений толщины защитного слоя бетона в железобетонных конструкциях.

По **ГОСТ 13015–2003 «ИЗДЕЛИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И БЕТОННЫЕ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ. ПРАВИЛА ПРИЕМКИ, МАРКИРОВКИ, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ»** установлены следующие требования к положению арматуры:

– положение арматуры в изделиях должно соответствовать проектному, указанному в рабочих чертежах изделий;

– предельные значения действительных отклонений толщины защитного слоя бетона до рабочей арматуры, указываемые в стандартах и рабочей документации на изделия конкретных видов, не должны превышать значений, приведенных в таблице 1. *Положительные значения предельных отклонений могут быть приняты большими, чем по таблице 1, если это не приводит к снижению требуемой несущей способности изделий.*

Таблица 1
В миллиметрах

Номинальная толщина защитного слоя бетона до поверхности стержня арматуры	Предельное отклонение по толщине защитного слоя бетона при линейных размерах поперечного сечения			
	До 100	101–200	201–300	Св. 300
От 10 до 14 включительно	+4	+5	+6	–
Св. 14 » 19 »	+4; –3	+8; –3	+10; –3	+15; –5
» 19	±5	+8; –5	+10; –5	+15; –5

Рассмотрим вероятностный подход к оценке допускаемых отклонений толщины защитного слоя бетона на примере изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения с одиночной арматурой (рисунок 1).

Условие прочности для сечения, нормального к продольной оси элемента, имеет вид

$$M_{sd} \leq M_{Rd},$$

где:

$$M_{Rd} = f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} \cdot (d - 0,5 \cdot x_{eff}), \quad x_{eff} = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{f_{cd} \cdot b}.$$

Тогда

$$M_{Rd} = f_{yd} \cdot A_s \cdot d - \frac{(f_{yd} \cdot A_s)^2}{2 \cdot f_{cd} \cdot b},$$

где: $d = h - c$ – рабочая высота сечения;

$c = a_{з.сл.} + \frac{d_s}{2}$ – расстояние от центра тяжести растянутой арматуры до крайнего растянутого волокна бетона сечения;

d_s – диаметр продольной рабочей арматуры.

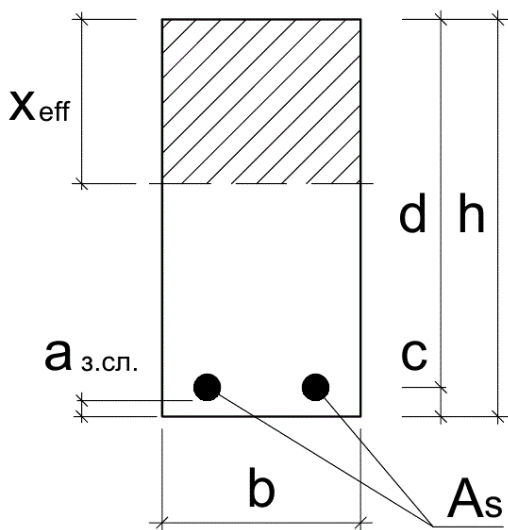


Рисунок 1 – Поперечное сечение

Средние значения проектной и фактической прочности сечения определяем по формулам:

$$\bar{M}_R^{not} = \bar{f}_y^{not} \cdot A_s^{not} \cdot d^{not} - \frac{(\bar{f}_y^{not} \cdot A_s^{not})^2}{2 \cdot \bar{f}_c^{not} \cdot b^{not}};$$

$$\bar{M}_R^{act} = \bar{f}_y^{act} \cdot \bar{A}_s^{act} \cdot \bar{d}^{act} - \frac{\left(\bar{f}_y^{act} \cdot \bar{A}_s^{act}\right)^2}{2 \cdot \bar{f}_c^{act} \cdot \bar{b}^{act}}.$$

Частные производные этих функций по всем параметрам имеют вид (верхние индексы при параметрах для простоты опущены):

$$\frac{\partial M}{\partial f_y} = A_s \cdot d - \frac{f_y \cdot A_s^2}{f_c \cdot b} \quad \frac{\partial M}{\partial b} = \frac{f_y^2 \cdot A_s^2}{2 \cdot f_c \cdot b^2} \quad \frac{\partial M}{\partial A_s} = f_y \cdot d - \frac{f_y^2 \cdot A_s}{f_c \cdot b}$$

$$\frac{\partial M}{\partial f_c} = \frac{f_y^2 \cdot A_s^2}{2 \cdot f_c^2 \cdot b}; \quad \frac{\partial M}{\partial d} = f_y \cdot A_s.$$

Исходные данные:

- $h = 600 \text{ мм}$, $b = 300 \text{ мм}$, $a_{з.сл.} = 20 \text{ мм}$;
- бетон тяжелый, класс бетона по прочности на осевое сжатие C25/30, $f_{ck} = 22,0 \text{ МПа}$, $f_{cd} = 15,5 \text{ МПа}$;
- продольная рабочая арматура $2\varnothing 16\text{S}400$, $f_{yk} = 400 \text{ МПа}$, $f_{yd} = 350 \text{ МПа}$.

Прочность сечения, нормального к продольной оси элемента, будет равна

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= f_{yd} \cdot A_s \cdot d - \frac{\left(f_{yd} \cdot A_s\right)^2}{2 \cdot f_{cd} \cdot b} = \\ &= 350 \cdot 402 \cdot 572 - \frac{(350 \cdot 402)^2}{2 \cdot 15,5 \cdot 300} = 78,35 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 78,35 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

В таблице 2 и на рисунке 2 приведены данные о прочности сечения (M_{Rd}), в зависимости от изменения (увеличения) толщины за-

щитного слоя бетона в рамках предельных отклонений по толщине защитного слоя бетона, установленных ГОСТ 13015–2003.

Проектные статистические характеристики прочностных свойств материалов:

$$\bar{f}_c^{not} = 22,0 \text{ МПа}; \quad \sigma_{f_c}^{not} = 2,97 \text{ МПа}; \quad V_{f_c}^{not} = 0,135;$$

$$\bar{f}_y^{not} = 500,0 \text{ МПа}; \quad \sigma_{f_y}^{not} = 50,0 \text{ МПа}; \quad V_{f_y}^{not} = 0,100;$$

$$\bar{d}^{not} = 572 \text{ мм}; \quad \sigma_d^{not} = 0; \quad V_d^{not} = 0;$$

$$\bar{b}^{not} = 300 \text{ мм}; \quad \sigma_b^{not} = 0; \quad V_b^{not} = 0;$$

$$\bar{A}_s^{not} = 402 \text{ мм}^2; \quad \sigma_{A_s}^{not} = 0; \quad V_{A_s}^{not} = 0,$$

где:

– бетон:

$$f_{ck} = \bar{f}_c^{not} = 22,0 \text{ МПа}; \quad f_{cd} = 15,5 \text{ МПа};$$

$$\text{коэффициент вариации } V_{f_c}^{not} = 0,135;$$

$$\text{среднеквадратическое отклонение } \sigma_{f_c}^{not} = 0,135 \cdot 22,0 = 2,97 \text{ МПа};$$

– арматура:

$$\sigma_{f_y}^{not} = 400,0 - 350,0 = 50,0 \text{ МПа};$$

$$\bar{f}_y^{not} = 400,0 + 2 \cdot 50,0 = 500,0 \text{ МПа};$$

$$V_{f_y}^{not} = \frac{50,0}{500,0} = 0,100.$$

Таблица 2

Момент	Толщина защитного слоя бетона $a_{з.сл.}$, мм							
	22	24	26	28	30	32	34	36
M_{Rd} , кН·м	78, 07	77, 79	77, 51	77, 23	76, 94	76, 66	76, 38	76, 10



Рисунок 2 – толщина защитного слоя бетона.

Фактические статистические характеристики:

$$\bar{f}_c^{act} = 22,0 \text{ МПа} ; \quad \sigma_{f_c}^{act} = 2,97 \text{ МПа} ; V_{f_c}^{act} = 0,135 ;$$

$$\bar{f}_y^{act} = 500,0 \text{ МПа} ; \quad \sigma_{f_y}^{act} = 50,0 \text{ МПа} ; V_{f_y}^{act} = 0,100 ;$$

$$\bar{d}^{act} = 572 \text{ мм} ; \quad \sigma_d^{act} = 12,45 \text{ мм} ;$$

$$V_d^{act} = 0,022 ;$$

$$\bar{b}^{act} = 300 \text{ мм} ; \quad \sigma_b^{act} = 6,00 \text{ мм} ; V_b^{act} = 0,020 ;$$

$$\bar{A}_s^{act} = 402 \text{ мм}^2 ; \quad \sigma_{A_s}^{act} = 4,02 \text{ мм}^2 ; V_{A_s}^{act} = 0,010 ,$$

где:

$$\bar{d}^{act} = \bar{h}^{act} - \bar{a}_{3.сл.}^{act} - \frac{\bar{d}_s^{act}}{2} ;$$

$$\begin{aligned}\sigma_d^{act} &= \sqrt{(\sigma_h^{act})^2 + (\sigma_{a_s,ct.}^{act})^2 + \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{d_s}^{act})^2} = \\ &= \sqrt{(12,00)^2 + (3,33)^2 + \frac{1}{2} \cdot (0,16)^2} = 12,45 \text{ мм}.\end{aligned}$$

Средние значения **проектной** и **фактической** прочности сечения

$$\begin{aligned}\overline{M}_R^{not} &= \overline{M}_R^{act} = \\ &= 500 \cdot 402 \cdot 572 - \frac{(500 \cdot 402)^2}{2 \cdot 22,0 \cdot 300} = 111,91 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 111,91 \text{ кН} \cdot \text{м}.\end{aligned}$$

Проектное минимальное значение прочности нормального сечения $M_{Rd}^{\min} = M_{Rd} = 78,35 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

Проектный стандарт прочности сечения

$$\begin{aligned}\sigma_{M_R}^{not} &= \sqrt{\left[A_s^{not} \cdot d^{not} - \frac{\overline{f}_y^{not} \cdot (A_s^{not})^2}{\overline{f}_c^{not} \cdot b^{not}} \right]^2 \cdot (\sigma_{f_y}^{not})^2 + \left[\frac{(\overline{f}_y^{not} \cdot A_s^{not})^2}{2 \cdot (\overline{f}_c^{not})^2 \cdot b^{not}} \right]^2 \cdot (\sigma_{f_c}^{not})^2} = \\ &= \sqrt{\left[402 \cdot 572 - \frac{500 \cdot (402)^2}{22,0 \cdot 300} \right]^2 \cdot (50,0)^2 + \left[\frac{(500 \cdot 402)^2}{2 \cdot (22,0)^2 \cdot 300} \right]^2 \cdot (2,97)^2} = \\ &= 10,89 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 10,89 \text{ кН} \cdot \text{м}.\end{aligned}$$

Фактический стандарт прочности сечения

$$\sigma_{M_R}^{act} = \sqrt{\left[\overline{f}_y^{act} \cdot \overline{A}_s^{act} \cdot \overline{d}^{act} - \frac{(\overline{f}_y^{act} \cdot \overline{A}_s^{act})^2}{2 \cdot \overline{f}_c^{act} \cdot \overline{b}^{act}} \right]^2 \cdot \left[(V_{f_y}^{act})^2 + (V_{A_s}^{act})^2 \right] +}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{(\bar{f}_y^{act} \cdot \bar{A}_s^{act})^4}{(2 \cdot \bar{f}_c^{act} \cdot \bar{b}^{act})^2} \cdot [(V_b^{act})^2 + (V_{f_c}^{act})^2] + (\bar{f}_y^{act} \cdot \bar{A}_s^{act} \cdot \bar{d}^{act} \cdot V_d^{act})^2 = \\
& = \sqrt{\left[500 \cdot 402 \cdot 572 - \frac{(500 \cdot 402)^2}{2 \cdot 22,0 \cdot 300} \right]^2} \cdot [(0,10)^2 + (0,01)^2] + \\
& + \frac{(500 \cdot 402)^4}{(2 \cdot 22,0 \cdot 300)^2} \cdot [(0,02)^2 + (0,135)^2] + (500 \cdot 402 \cdot 572 \cdot 0,022)^2 = \\
& = 11,54 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 11,54 \text{ кН} \cdot \text{м}.
\end{aligned}$$

Определяем **проектное** и **фактическое** количество стандартов, на которое отстоит среднее значение прочности сечения от минимальной проектной:

$$\begin{aligned}
n^{not} &= \frac{\bar{M}_R^{not} - M_R^{\min}}{\sigma_{M_R}^{not}} = \frac{111,91 - 78,35}{10,89} = 3,08; \\
n^{act} &= \frac{\bar{M}_R^{act} - M_R^{\min}}{\sigma_{M_R}^{act}} = \frac{111,91 - 78,35}{11,54} = 2,91.
\end{aligned}$$

Заключение

Так как $n^{act} = 2,91 < 3,0$, при производстве железобетонных конструкций необходимо уточнять плюсовые допуски на толщину защитного слоя бетона, которые могут более «жесткими», чем по ГОСТ 13015–2003. В нашем случае +5 мм.