

С. Г. ИОШНЯН, А. А. ГЮЛЗАДЯН

К РАСЧЕТУ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗО-
 БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО РАСКРЫТИЮ ТРЕЩИН

Для преднапряженного железобетонного элемента, работающего под длительной и кратковременной нагрузками, оценим наибольшую ширину раскрытия трещин, которую возможно получить при расчете по [1]. Обозначим: N — расчетное осевое усилие от полной нагрузки при коэффициенте перегрузки $n > 1$; N^n — нормативное (расчетное при $n = 1$) осевое усилие от полной нагрузки; $N_{кр}^n$ — нормативное осевое усилие от кратковременно действующей нагрузки; $N_{дл}^n$ — то же от длительной действующей нагрузки; $k_1 = \frac{N_{кр}^n}{N^n}$. Аналогичные характеристики для изгибаемого элемента, соответственно, обозначим M , M^n , $M_{кр}^n$, $M_{дл}^n$, $k_1 = \frac{M_{кр}^n}{M^n}$.

Для элемента, работающего на осевое растяжение, при требованиях 2-ой категории ширина кратковременного раскрытия трещин вычисляется по формуле

$$a_{т.кр.} = 1,2 \frac{N^n - N_{02}^n}{F_1} L, \tag{1}$$

где $L = \gamma \frac{20(3,5 - 100\alpha) \sqrt{d}}{E_s}$; $\mu = \frac{F_1}{F}$, но не более 0,02 [1]. Принимая из условия прочности $N = N^n \cdot n = R_s F_1$ и с учетом $N_{02}^n = \varepsilon_{02} F_s$, из (1) получим

$$a_{т.кр.} = 1,2 \left(\frac{R_s}{n} - \varepsilon_{02} \right) L. \tag{2}$$

Для того же элемента при требованиях 3-й категории ширину длительного раскрытия вычисляем:

$$a_{т.дл.} = 1,2 \cdot 1,5 \frac{N_{дл}^n - N_{02}^n}{F_s} L. \tag{3}$$

С учетом $N_{\text{дл}}^n = N^n - N_{\text{нр}}^n = N^n(1 - k_1) = \frac{R_s F_s}{n}(1 - k_1)$ из (3) получим:

$$a_{\text{т. дл.}} = 1,8 \left[\frac{R_s(1 - k_1)}{n} - \sigma_{02} \right] \cdot L. \quad (4)$$

Ширина кратковременного раскрытия трещин при требованиях 3-й категории, следуя обозначениям [2], равна

$$a_{\text{т. кр.}} = a_{\text{т1}} - a_{\text{т2}} + a_{\text{т3}}.$$

откуда получим

$$a_{\text{т. кр.}} = 1,8 \left[\frac{R_s(1 - 0,333k_1)}{n} - \sigma_{02} \right] \cdot L. \quad (5)$$

Для изгибаемого элемента прямоугольного сечения с одиночной напрягаемой арматурой в случае требований 2-ой категории:

$$a_{\text{т. кр.}} = \frac{M^n - N_{02} z_1}{F_s \cdot z_1} \cdot L. \quad (6)$$

Обозначив $k_2 = \frac{h}{h_0}$, $k_3 = \frac{z_1}{h_0}$, где z_1 — плечо внутренней пары по [1],

а также с учетом $M^n = \frac{M}{n} = \frac{R_s \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_{\text{нр}}} \cdot \mu \cdot k_2 \right) F_s \cdot h_0}{n}$, из (6) получим

$$a_{\text{т. кр.}} = \left[\frac{R_s \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_{\text{нр}}} \cdot \mu \cdot k_2 \right)}{n \cdot k_3} - \sigma_{02} \right] \cdot L. \quad (7)$$

Аналогично, для требований 3-й категории:

$$a_{\text{т. кр.}} = 1,5 \left[\frac{R_s \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_{\text{нр}}} \cdot \mu \cdot k_2 \right) (1 - 0,333k_1)}{n \cdot k_3} - \sigma_{02} \right] \cdot L, \quad (8)$$

$$a_{\text{т. дл.}} = 1,5 \left[\frac{R_s \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_{\text{нр}}} \cdot \mu \cdot k_2 \right) (1 - k_1)}{n \cdot k_3} - \sigma_{02} \right] \cdot L. \quad (9)$$

На основе [1], по методике, описанной в [3], были составлены зависимости $\sigma_{02} = f(\sigma_0, R, \mu)$ с учетом потерь $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_8, \sigma_9$. Значения σ_0 принимались наибольшими для заданного класса арматуры. При вычислении потерь σ_1 длину натягиваемого стержня принимали $l = 18$ м, а в случае проволочной и канатной арматуры — $l = 50$ м. Влияние возможных изменений σ_1 в зависимости от длины натягиваемого

мой арматуры на конечный результат расчета учитывается дополнительно. Все остальные потери при известных $R_{лн}$, R_c и μ определяются однозначно. Подставив выражения для определения $\sigma_{ср}$ в (2), (4), (5), (7)—(9), можно вычислить ширину раскрытия в зависимости от коэффициента армирования μ .

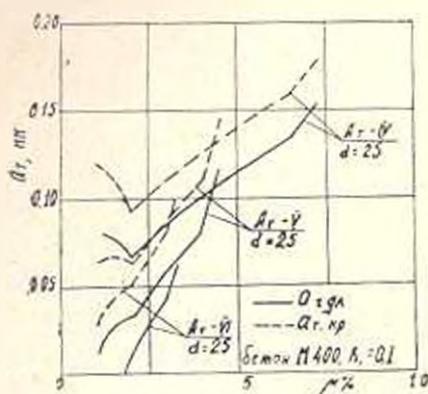


Рис. 1. Зависимость $a_{т, зз}$ и $a_{т, ср}$ от процента армирования в случае осевого растяжения при требованиях 3-й категории по трещиностойкости.

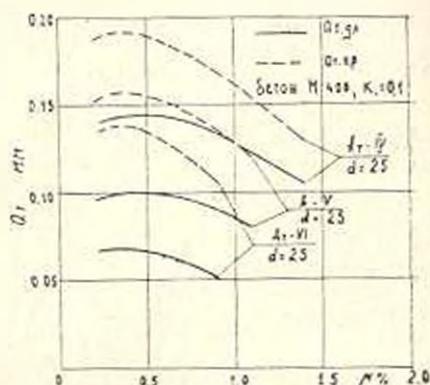


Рис. 2. Зависимость $a_{т, зз}$ и $a_{т, ср}$ от процента армирования в случае изгиба при требованиях 3-й категории по трещиностойкости.

На рис. 1 и 2 показаны значения $a_{т}$, вычисленные при коэффициенте перегрузки $n = 1,15$ и требованиях 3-й категории для центрально растянутых и изгибаемых элементов. Из рис. 1 и 2 следует, что при осевом растяжении наибольшее раскрытие трещины $a_{т, макс}$ имеет место при наибольшем μ , который определяется из условия ограничения напряжений обжатия бетона [1], при изгибе же $a_{т, макс}$ имеет место при μ , близком к минимальному, определенному из условия возникновения трещины.

Формулы (2)—(9) позволяют оценить наибольшее раскрытие трещины, которое возможно при расчете при любой комбинации марки бетона и класса арматуры. Произведем преобразование этих формул. В случае требований 3-й категории будем иметь:

$$a_{т, зз} = k_4 \cdot \sqrt[3]{d} [k_3 \cdot (1 - k_2) - 1] + \Delta a_{т}; \quad (10)$$

$$a_{т, ср} = k_4 \cdot \sqrt[3]{d} [k_3 \cdot (1 - 0,333k_2) - 1] + \Delta a_{т}; \quad (11)$$

а в случае требований 2-й категории —

$$a_{т, ср} = k_4 \cdot \sqrt[3]{d} + 0,7\Delta a_{т}; \quad (12)$$

где $k_3 = 1,8 \frac{L}{\sqrt[3]{d}} \sigma_{02}$ и $k_2 = \frac{R_c}{n \cdot \sigma_{02}}$ — для осевого растяжения;

$$k_1 = 1,5 \frac{L}{\sqrt[3]{d}} \sigma_{02} \text{ и } k_2 = \frac{R_s \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_{np}} n \cdot k_2 \right)}{n \cdot \sigma_{02} \cdot k_3} \text{ — для изгиба;}$$

$$k_3 = \frac{k_1(k_2 - 1)}{1,5} \text{ — в обоих случаях; } \Delta a_1 = k_2 \sqrt[3]{\frac{l - l_1}{l - \sigma} \cdot \sqrt[3]{d}};$$

l_1 — длина натягиваемой арматуры.

В формулах (10) — (12) Δa_1 — поправка, учитывающая увеличение ширины раскрытия трещин в зависимости от изменения σ_2 при $l_1 < l$. Коэффициент k_2 принимается для стержневой арматуры 0,03, а для проволочной канатной — 0,02.

В таблице приведены значения коэффициентов k_1 , k_2 , k_3 , соответствующие наибольшему раскрытию трещин $a_{1, \max}$ при применении заданного класса арматуры в комбинации с любой возможной маркой бетона.

Таблица

класс арм.	Ат-IV	Ат-V	Ат-VI	Вр-11			К-7	
				$d=3$ мм	$d=4-5$ мм	$d=6-8$ мм	$d_{np}=3$ мм	$d_{np}=4$ мм
k_1	0,160	0,25	0,3	—	0,493	0,387	—	0,567
	0,056	0,101	0,151	—	0,357	0,193	—	0,3
k_2	1,52	1,32	1,23	—	1,15	1,2	—	1,13
	2,2	1,508	1,288	—	1,12	1,25	—	1,109
k_3	0,055	0,05	0,045	0,044	0,046	0,049	0,047	0,047
	0,045	0,036	0,03	0,025	0,03	0,031	0,022	0,023

В числителе даны значения коэффициентов для изгиба, а в знаменателе — для осевого растяжения.

Применение (10) — (12) позволяет существенно сократить объем расчетов по раскрытию трещин в преднапряженных конструкциях. Вычислив наибольшее возможное раскрытие трещин и сравнив его с предельно допустимым раскрытием, можно убедиться, что в очень многих случаях $a_{1, \max}$ меньше предельно допустимой величины, в связи с чем отпадает необходимость проверки трещиностойкости конструкции.

Сравнение расчетных данных, вычисленных по формулам (10) — (12), с данными [1] показывает, что в конструкциях, находящихся в нормальных условиях эксплуатации при наибольшей величине интенсивности предварительного напряжения арматуры, надобность расчета по раскрытию трещин в большинстве случаев отпадает.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. СНиП 11—21—75. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1976.
2. Руководство по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона. М., Стройиздат, 1977.
3. *Байков В. Н., Складнев Н. Н.* Оптимальное проектирование предварительно напряженных железобетонных конструкций. «Доклады VIII конгресса ФИП», М., изд. МИСИ, 1978.