НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГОССТРОЯ СССР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

НИИСК
КИЕВ 1982

gost.e-ecolog.ru

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГОССТРОЯ СССР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Одобрены секцией № 1 Научно-технического совета
НИИСК Госстроя СССР
Протокол № 5 от 28 апреля 1982 г.

НИИСК
КИЕВ 1982

УДК 624.044:539.382 ⟶ 384

Даны методические рекомендации по определению ширины раскрытия трещин в обычных и предварительно напряженных железобетонных элементах и числовые примеры, иллюстрирующие их использование (приложение 2).

Рекомендации основаны на результатах многолетних теоретических и экспериментальных исследований и могут рассматриваться как шаг в развитии инженерных методов расчета железобетонных элементов.

Распространяются на элементы из тяжелых (обычных), мелкозернистых, легких и плотных силикатных бетонов.

Рассчитаны на инженерно-технических работников проектных и научно-исследовательских организаций, а также студентов и аспирантов вузов и факультетов строительного профиля.

Разработаны инж. Смоляго Г.А., кандидатами техн. наук Усмановым В.Ф., Волковым Ю.А. и докт. техн. наук Голышевым А.Б.

Отзывы и замечания просим направлять по адресу: 252037 Киев-37, ул. И.Клименко, 5/2, НИИСК Госстроя СССР, лаборатория теории расчета железобетонных конструкций.

Изд. № 5-82

© Научно-исследовательский институт строительных конструкций (НИИСК) Госстроя СССР, 1982

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Железобетонные элементы рассчитываются на раскрытие трещин, нормальных к продольной оси элемента, наклонных, пересекающих продольную и поперечную арматуру, и наклонных, пересекающих поперечную арматуру (рис. I).

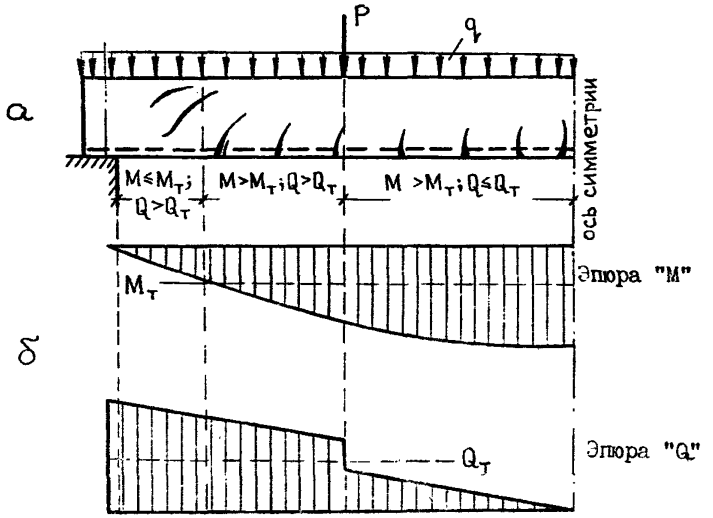


Рис. I. К расчету по раскрытию трещин
а – типы трещин; б – эпюры моментов и поперечных сил

I.2. Расчет по раскрытию трещин производится для элементов, к трещиностойкости которых предъявляются требования 2-й категории (ограниченное по ширине кратковременное раскрытие трещин при условии их последующего надежного закрытия) и для элементов, к трещиностойкости которых предъявляются требования 3-й категории.

Определение полной ширины раскрытия трещин производится по формулам:

для элементов, к трещиностойкости которых предъявляются требования 2-й категории

$$a_T = a_{T1}; \qquad (I)$$

для элементов, к трещиностойкости которых предъявляются требования 3-й категории

$$a_т = a_{т1} - a_{т2} + a_{тэ}, \qquad (2)$$

где $a_{т1}$ – ширина раскрытия трещин от кратковременного действия всех нагрузок; $a_{т2}$ – ширина раскрытия трещин от постоянных и длительных нагрузок при их кратковременном действии; $a_{тэ}$ – то же, от длительного действия указанных нагрузок.

I.3. В основу расчета по раскрытию трещин положены следующие общие предпосылки:

раскрытие трещин есть накопление относительных взаимных смещений арматуры и бетона на участках активного сцепления, расположенных по обе стороны от трещины (рис. 2), то есть

$$a_т = 2\int_0^{l_a} [\varepsilon_a(u) - \varepsilon_б(u)]du; \qquad (3)$$

напряжения сцепления по поверхности контакта бетона и растянутой арматуры на участках между трещинами изменяются пропорционально относительным взаимным смещениям арматуры и бетона;

относительное удлинение бетона на уровне растянутой арматуры в сечении „u" — $\varepsilon_б(u)$ принимается равным отношению напряжений в бетоне на указанном уровне к его модулю упругопластичности;

сжатый бетон и растянутая арматура работают упруго.

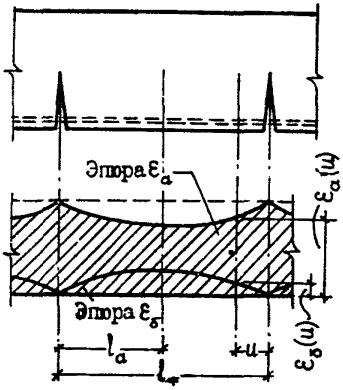


Рис. 2. Расчетная схема к уравнению (3)

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ НОРМАЛЬНЫХ ТРЕЩИН

2.1. Расчет по раскрытию нормальных трещин требуется, если на рассматриваемом участке (по длине элемента) при действии кратковременных нагрузок и кратковременном действии постоянных и длительных нагрузок $M > M_т$ и $Q < Q_т$ *.

2.2. При расчете по раскрытию нормальных трещин кроме общих предпосылок, изложенных в п. I.3, используется дополнительная предпосылка о том, что эпюра нормальных напряжений в бетоне растянутой зоны изменяется от треугольной в сечении с трещиной до трапецеидальной в средних сечениях на участке между трещинами с максимальными напряжениями, равными предельному сопротивлению бетона осевому растяжению.

2.3. Ширина раскрытия нормальных трещин определяется на уровне центра тяжести сечения наиболее растянутого ряда арматуры.

2.4. Максимальная ширина раскрытия трещин на уровне центра тяжести сечения наиболее растянутого ряда арматуры определяется по формуле

$$a_т = 3{,}2\, c_g \eta K K_a \frac{\sigma_a F_a}{p_a G_a}, \qquad (4)$$

где c_g – коэффициент, принимаемый равным: при учете кратковременных нагрузок и кратковременном действии постоянных и длительных нагрузок – I; многократно повторяющейся нагрузки, а также длительного действия постоянных и длительных нагрузок для элементов из бетонов:

тяжелых естественного твердения – I,5;
тяжелых в водонасыщенном состоянии – I,2;
мелкозернистых
вида А – I,75;
вида Б – 2,0;
вида В – I,5;
легких плотной структуры – I,5;
поризованных – 2,0;
ячеистых – 2,5;

η – коэффициент, принимаемый равным: при стержневой арматуре периодического профиля – I; гладкой – I,3; при проволочной арматуре периодического профиля и канатах – I,2; гладкой – I,4;

для изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов:

$$K = 1 + \frac{\Delta y}{h_0 - x}; \qquad (5)$$

$$K_{\bar{x}} \frac{1 - 8x/F}{1 - 8x/F + 2{,}2 n_a M}; \qquad (6)$$

* Условные обозначения приведены в приложении 4.

для центрально растянутых элементов $K = I$

$$K_a = \frac{1}{1+2n_a\mu}; \qquad (7)$$

σ_a – напряжения или (при наличии предварительного напряжения) приращение напряжений в арматуре А на уровне центра тяжести сечения указанной арматуры от действия внешних нагрузок; G_a – модуль взаимного смещения арматуры и бетона на участках между трещинами, принимаемый равным $K_{сц}E_б$, где $K_{сц}$ – коэффициент, определяемый по таблице в зависимости от вида, марки бетона и степени его обжатия; F_a и P_a – площадь и периметр поперечного сечения всей арматуры А.

Вид бетона	$\frac{\sigma_{б.н}}{R_o}$	Проектная марка бетона						
		I00	I50	200	300	400	600	800
Тяжелые (обычные)	0	–	0,56	0,5I	0,45	0,42	0,39	0,37
	0,2	–	–	0,50	0,44	0,4I	0,38	0,36
	0,4	–	–	0,44	0,38	0,35	0,32	0,38
	0,6	–	–	0,35	0,29	0,27	0,24	0,22
	0,8	–	–	0,20	0,I8	0,I6	0,I3	0,II
Мелкозернистые	0	–	0,76	0,65	0,55	0,50	–	–
	0,2	–	–	0,64	0,53	0,48	–	–
	0,4	–	–	0,57	0,46	0,43	–	–
	0,6	–	–	0,45	0,35	0,33	–	–
	0,8	–	–	0,23	0,I8	0,I6	–	–
Легкие плотной структуры	0	0,8	0,7	0,65	0,55	0,49	–	–
	0,2	–	–	0,64	0,53	0,48	–	–
	0,4	–	–	0,57	0,46	0,43	–	–
	0,6	–	–	0,44	0,35	0,33	–	–
	0,8	–	–	0,23	0,I8	0,I6	–	–
Плотные силикатные	0	–	0,97	0,79	0,65	0,57	–	–
	0,2	–	–	0,78	0,63	0,56	–	–
	0,4	–	–	0,70	0,54	0,5I	–	–
	0,6	–	–	0,54	0,40	0,39	–	–
	0,8	–	–	0,26	0,I9	0,I7	–	–

Примечания. I. Численные значения коэффициента $K_{сц}$ для промежуточных марок бетонов и уровней предварительного обжатия определяются по интерполяции. 2. $\sigma_{б.н}$ – напряжения обжатия бетона на уровне центра тяжести сечений наиболее растянутого ряда арматуры А, определяемые в соответствии с п. I.29 СНиП II-2I-75; R_o – передаточная прочность бетона.

В формулах (5) и (6):

Δy – расстояние от центра тяжести сечения арматуры А до центра тяжести сечения наиболее растянутого ряда указанной арматуры;

x – высота сжатой зоны бетона над вершиной нормальной трещины в сечении с величиной изгибающего момента, средней для рассматриваемого участка, определяемая в соответствии с п. 4.28 СНиП II-2I-75, или по формуле (5.I2) [3]; F – площадь бетона в сечении высотой h_o без учета свесов

сжатой полки

$$n_a = \frac{E_a}{E_б}; \qquad (8)$$

для прямоугольных, тавровых и двутавровых сечений

$$M = \frac{F_a}{bh_o + (b_п - b)(h_п - a)}; \qquad (9)$$

если во внецентренно растянутых элементах растягивающаяся сила $N_c = N - N_o$ расположена между центрами тяжести арматуры A и A′, то при определении M рабочая высота h_o принимается от точки расположения силы N_c до менее растянутой грани, при этом для центрального растяжения

$$M = \frac{F_a}{bh}. \qquad (10)$$

Величина $Q_т$, которую необходимо иметь при определении границ рассматриваемого участка (при действии равномерно распределенной, а в ряде случаев и смешанной нагрузки) подсчитывается по формуле (I) приложения I.

Напряжения в растянутой арматуре σ_a в стадиях транспортирования, возведения и эксплуатации определяются по формулам:

для изгибаемых элементов (рис. 3,а)

$$\sigma_a = \frac{M - N_o(z_1 - e_{a.н})}{F_a z_1}; \qquad (11)$$

для внецентренно сжатых элементов (см. рис. 3,б)

$$\sigma_a = \frac{N(e_a - z_1) - N_o(z_1 - e_{a.н})}{F_a z_1}; \qquad (12)$$

для внецентренно растянутых элементов (см. рис. 3,в) при

$$e_{o.c} = \frac{Ne_o - N_o e_{o.н}}{N - N_o} \geq 0{,}8h_o, \qquad (13)$$

а также, если $N < N_o$

$$\sigma_a = \frac{N(z_1 \pm e_a) - N_o(z_1 - e_{a.н})}{F_a z_1}; \qquad (14)$$

для внецентренно растянутых элементов при $0 < e_a < 0{,}8h_o$ (см. рис. 3,г)

$$\sigma_a = \frac{N(z_a \pm e_a) - N_o(z_a - e_{a.н})}{F_a z_a}; \qquad (15)$$

для центрально растянутых элементов

$$\sigma_a = \frac{N - N_o}{F_a}. \qquad (16)$$

Здесь:

z_1 – расстояние от центра тяжести сечения арматуры А до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне сечения элемента, определяемое в соответствии с п. 4.28 СНиП II-21-75, или по формуле (4.7) [3]; $z_{a'}$ – расстояние между центрами тяжести сечений арматуры А и А'.

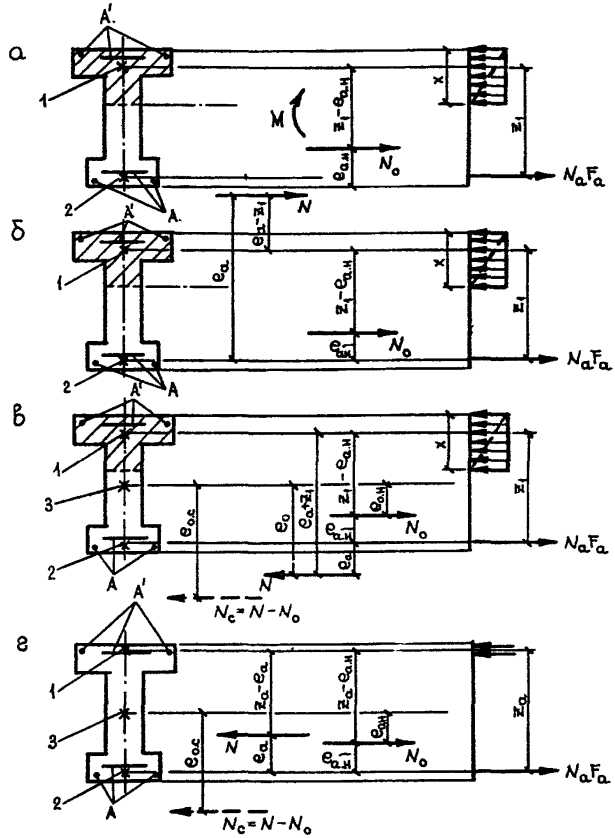


Рис. 3. Схема усилий и эпюры напряжений в поперечном сечении элемента при расчете по раскрытию нормальных трещин
1 – точка приложения равнодействующей усилий в сжатой или менее растянутой зоне; 2 – центр тяжести площади арматуры А; 3 – центр тяжести площади приведенного сечения; прямоугольная эпюра соответствует расчету по СНиП, треугольная – по формулам работы [3]

В формулах (I4) и (I5) знак "минус" принимается при расположении растягивающей силы N между центрами тяжести арматуры A и A′, знак "плюс" – при расположении силы N вне расстояния между арматурами A и A′.

При сопоставлении средней опытной ширины раскрытия нормальных трещин с вычисленной по формуле (4) величину $a_т$, полученную по этой формуле, следует разделить на I,6.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ НАКЛОННЫХ ТРЕЩИН, ПЕРЕСЕКАЮЩИХ ПРОДОЛЬНУЮ И ПОПЕРЕЧНУЮ АРМАТУРУ

3.I. Расчет по раскрытию наклонных трещин, пересекающих продольную и поперечную арматуру, требуется, если на рассматриваемом участке (по длине элемента) при действии кратковременных нагрузок и кратковременном действии постоянных и длительных нагрузок $M>M_т$ и $Q>Q_т$.

3.2. Ширина раскрытия трещин, пересекающих продольную и поперечную арматуру, определяется вдоль оси продольной арматуры и вдоль оси поперечной арматуры.

3.3. При определении ширины раскрытия трещин вдоль оси продольной арматуры используются предпосылки пп. I.3 и 2.2 настоящих методических рекомендаций.

3.4. Ширина раскрытия трещин вдоль оси продольной арматуры определяется на уровне центра тяжести сечения наиболее растянутого ряда указанной арматуры.

3.5. Максимальная ширина раскрытия трещин на уровне центра тяжести сечения наиболее растянутого ряда продольной арматуры определяется по формуле

$$a_т = 3{,}2\, c_g \eta K \frac{1}{\sigma_a}\left(\frac{K_a \sigma_{a.M} F_a}{\rho_a} + \frac{\sigma_{a.a} u_n}{2}\right), \qquad (I7)$$

где $\sigma_{a.M}$ и $\sigma_{a.a}$ – напряжения или (при наличии предварительного напряжения) приращения напряжений в арматуре A на уровне центра тяжести сечения указанной арматуры от действия, соответственно, изгибающего момента и поперечной силы.

Значения $\sigma_{a.M}$ определяются по формуле (II), где M – изгибающий момент в нормальном сечении, проходящем через начало наклонной трещины (левая граница среднего участка на рис. I),

значения $\sigma_{a.a}$ - по формуле

$$\sigma_{a.a}=\frac{Q_{II}-N_{o.кр}\sin\alpha}{J_n b_a}S_p, \qquad (18)$$

где Q_{II} - поперечная сила в нормальном сечении, проходящем через начало наклонной трещины; $N_{o.кр.}$ - равнодействующая усилий предварительного напряжения наклонных стержней (отогнутой напрягаемой арматуры) в том же сечении с учетом потерь, соответствующих рассматриваемой стадии работы элемента; α - угол между направлением действия силы $N_{o.кр.}$ и продольной осью элемента; S_p - статический момент площади сечения арматуры А, приведенной к бетону, и площади защитного слоя бетона высотой $h-h_o$ относительно оси, проходящей через центр тяжести приведенного сечения элемента; b_a - ширина поперечного сечения элемента на уровне наиболее растянутого ряда арматуры А.

Если начало наклонной трещины расположено между двумя стержнями поперечной арматуры (вертикальными, наклонными или вертикальным и наклонным) u_n - расстояние между указанными стержнями, измеренное вдоль оси продольной арматуры на уровне центра тяжести сечения наиболее растянутого ряда, если начало наклонной трещины расположено между опорой и ближайшим к ней наклонным стержнем u_n - расстояние между осью опоры и указанным стержнем, измеренное вдоль оси продольной арматуры на уровне центра тяжести сечения наиболее растянутого ряда.

Значения $c_g, \eta, K, K_a, \rho_a$ и G_a расшифрованы в п. 2.4 настоящих методических рекомендаций.

При сопоставлении средней опытной ширины раскрытия наклонных трещин с вычисленной по формуле (17) величину a_T, полученную по этой формуле, следует разделить на 1,6.

3.6. При определении ширины раскрытия трещин вдоль оси поперечной арматуры кроме общих предпосылок, изложенных в п. 1.3 настоящих методических рекомендаций, используется дополнительная предпосылка о том, что после образования трещины бетон, вовлекаемый в работу каждым стержнем поперечной арматуры, находится в условиях осевого растяжения. При определении напряжений в поперечной арматуре в качестве расчетной принимается схема, показанная на рис. 4.

3.7. В общем случае (при комбинированном армировании) максимальная ширина раскрытия наклонных трещин вдоль оси поперечной арматуры определяется по формулам:

для вертикальных стержней

$$a_т = 4{,}0\, c_g\, \eta\, K_x \frac{\sigma_{ax} F_{ax}}{P_{ax} G_{ax}}; \qquad (19)$$

для наклонных стержней

$$a_т = 5{,}5\, c_g\, \eta\, K_o \frac{\sigma_{ao} F_{ao}}{P_{ao} G_{ao}}. \qquad (20)$$

Здесь:

$$K_x = \frac{1}{1 + 2 n_{ax} (M_x}; \qquad (21)$$

$$K_o = \frac{1}{1 + 2 n_a (M_o}; \qquad (22)$$

σ_{ax} и σ_{ao} – напряжения или (при наличии предварительного напряжения) приращения напряжений в вертикальных и наклонных стержнях от действия внешней нагрузки;

G_{ax} – модуль взаимного смещения вертикальных стержней и бетона, принимаемый равным $0{,}55 G_a$; G_{ao} – модуль взаимного смещения наклонных стержней и бетона, принимаемый равным: при $\alpha = 45° - G_a$, при $\alpha = 30°$ и $60° - 0{,}75 G_a$; F_{ax} и P_{ax} – площадь и периметр поперечного сечения вертикальных стержней, расположенных в одной нормальной к продольной оси элемента плоскости, пересекающей наклонную трещину; F_{ao} и P_{ao} – то же, наклонных стержней.

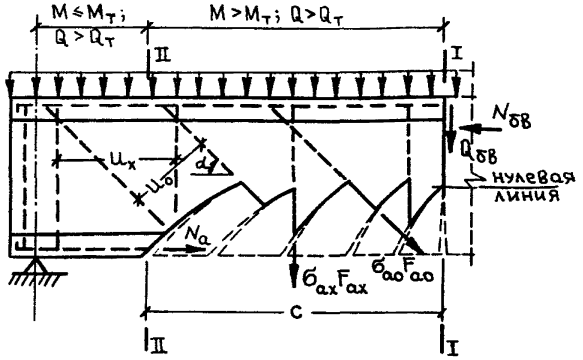


Рис. 4. Расчетная схема для определения напряжений в поперечной арматуре на участке $M > M_т$, $Q > Q_т$.

В формулах (21) и (22):

$$n_{ax} = \frac{E_{ax}}{E_б}; \qquad (23)$$

$$M_x = \frac{F_{ax}}{b u_x}; \qquad (24)$$

$$M_o = \frac{F_{ao}}{\beta u_o}. \qquad (25)$$

Напряжения в вертикальных и наклонных стержнях определяются по формулам:

$$\sigma_{ax} = \frac{(Q_I - Q_{\delta\beta} - N_{o.kp}\sin\alpha)E_x u_x u_o}{(E_a F_{ao} u_x + E_{ax} F_{ax} u_o)c}; \qquad (26)$$

$$\sigma_{ao} = \frac{(Q_I - Q_{\delta\beta} - N_{o.kp}\sin\alpha)E_a u_x u_o}{(E_a F_{ao} u_x + E_{ax} F_{ax} u_o)c\sin\alpha}, \qquad (27)$$

где Q_I – поперечная сила в сечении I–I, то есть в нормальном сечении, в котором величина $Q - Q_T$ меняет знак (при равномерно распределенной нагрузке $Q = Q_T$); $Q_{\delta\beta}$ – усилие сдвига в бетоне сечения I–I над наклонной трещиной;

$$Q_{\delta\beta} = 0{,}67\frac{Q_T x}{z_1}K_{y\beta}; \qquad (28)$$

c – длина участка, ограниченного нормальным сечением, в котором $M = M_T$ и нормальным сечением, в котором величина $Q - Q_T$ меняет знак.

В формуле (28):

x – высота сжатой зоны бетона в сечении I–I, определяемая в соответствии с п. 4.28 СНиП II-21-75, или по формуле (5.12)[3] (при равномерно распределенной нагрузке – в сечении, расположенном на расстоянии $0{,}25\ell$ от оси опоры, при сосредоточенной и смешанной нагрузке – в сечении под силой); $K_{y\beta}$ – коэффициент, учитывающий влияние местных сжимающих напряжений в бетоне от местного действия сосредоточенных сил и распределенной нагрузки;

при действии сосредоточенных сил и $a \leq 2h_o$

$$K_{y\beta} = 1 + \frac{4Q_I}{R_{np} b h_o}; \qquad (29)$$

при действии равномерно распределенной нагрузки

$$K_{y\beta} = 1 + \frac{4q}{R_{np} b}; \qquad (30)$$

при действии сосредоточенных сил и $a > 2h_o$ коэффициент $K_{y\beta}$ принимается равным единице.

При поперечной арматуре в виде вертикальных стержней и одного наклонного стержня (отогнутая напрягаемая арматура) в формуле (25) принимается $u_o = 6d$, где d – диаметр стержня (каната, пучка), а в формулах (26) и (27) – $u_o = c$.

При поперечной арматуре только в виде вертикальных стержней

$$\sigma_{ax} = \frac{Q_1 - Q_{bb} - N_{o.kp} \sin\alpha}{F_{ax}\, c}\, u_x. \qquad (31)$$

Значения c_g, η, σ_a и z_1, расшифрованы в п. 2.4 настоящих методических рекомендаций. Величина Q_T определяется по формуле (I) приложения I.

С предельной величиной раскрытия трещин, установленной нормами, сравнивается большее из значений a_T, полученных по формулам (I9) и (20).

При сопоставлении средней опытной ширины раскрытия трещин с вычисленной по формулам (I9) и (20) величину a_T, полученную по соответствующей формуле, следует разделить на I,6.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ НАКЛОННЫХ ТРЕЩИН, ПЕРЕСЕКАЮЩИХ ПОПЕРЕЧНУЮ АРМАТУРУ

4.I. Расчет ширины раскрытия наклонных трещин, пересекающих поперечную арматуру, требуется если на рассматриваемом участке (по длине элемента) при действии кратковременных нагрузок и кратковременном действии постоянных и длительных нагрузок $M \le M_T$ и $Q > Q_T$.

4.2. Ширина раскрытия трещин, пересекающих поперечную арматуру, определяется вдоль оси указанной арматуры.

4.3. При определении ширины раскрытия трещин вдоль оси поперечной арматуры кроме общих предпосылок, изложенных в п. I.3, используются следующие дополнительные предпосылки:

после образования трещины бетон, вовлекаемый в работу каждым стержнем поперечной арматуры, находится в условиях осевого растяжения;

траектория трещины в сжатой от действия внешней нагрузки зоне элемента представляет собой гиперболу, касательная к которой в точке пересечения с линией, проходящей через центр тяжести сечения, образует с этой линией угол, равный β;

траектория трещины в растянутой от действия внешней нагрузки зоне элемента представляет собой прямую линию, переходящую в месте пересечения ребра с полкой в гиперболу, касательная к которой в этом месте образует угол, равный β.

При определении напряжений в поперечной арматуре в качестве расчетной принимается схема, показанная на рис. 5.

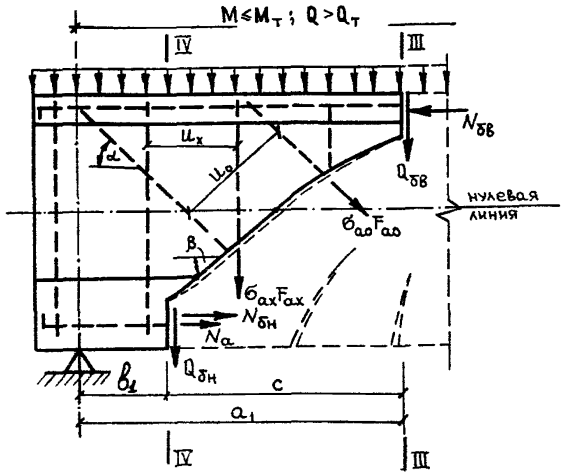


Рис. 5. Расчетная схема для определения напряжений в поперечной арматуре на участке $M \le M_т$, $Q > Q_т$

4.4. В общем случае (при комбинированном армировании) максимальная ширина раскрытия наклонных трещин вдоль оси поперечной арматуры определяется по формулам (I9) и (20), где

$$\sigma_{ax} = \frac{(Q_{III} - Q_{\delta b} - Q_{\delta н} - N_{o.кр} \sin\alpha) E_{ax} u_x u_o}{(E_a F_{ao} u_x + E_{ax} F_{ax} u_o) c}; \qquad (32)$$

$$\sigma_{ao} = \frac{(Q_{III} - Q_{\delta b} - Q_{\delta н} - N_{o.кр} \sin\alpha) E_a u_x u_o}{(E_a F_{ao} u_x + E_{ax} F_{ax} u_o) c \sin\alpha}. \qquad (33)$$

В этих формулах:

Q_{III} – поперечная сила в сечении III–III (при действии сосредоточенных сил $Q_{III} = Q_{II} - Q_I$); $Q_{\delta b}$ – усилие сдвига в бетоне сечения III–III над наклонной трещиной

$$Q_{\delta b} = \frac{0{,}67\, Q_{III}\, x_в}{z_1} \sqrt{\frac{x_в}{x}}\, K_{yв}; \qquad (34)$$

$Q_{\delta н}$ – усилие сдвига в бетоне сечения IV–IV под наклонной трещиной

$$Q_{\delta н} = \frac{0{,}67\, Q_{IV}\, S_н}{J_п}\, x_н\, K_{yн}. \qquad (35)$$

В формуле (34):

$x_в$ – высота сжатой зоны сечения III–III над наклонной трещиной;

при $a < 1{,}6h_0$

$$x_в = \frac{x^2}{h_п + 2x - h + (a - в_{1т})tg\beta}; \qquad (36)$$

при $a \geq 1{,}6h_0$

$$x_в = 2\frac{(J_п - 0{,}67S_н x_н)x^2 z_1}{J_п[x(4h - 0{,}5x_н) - в_1 z_1]tg\beta}; \qquad (37)$$

Q_{IV} – поперечная сила в сечении IV–IV (при действии сосредоточенных сил $Q_{IV} = Q_{III} = Q_{II} = Q_I$); $x_н$ – высота части сечения IV–IV под наклонной трещиной

$$x_н = \frac{h_п^2}{h_п + (в_{1т} - в_1)tg\beta}; \qquad (38)$$

$$tg\beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \sigma_x / R_р}}; \qquad (39)$$

σ_x – нормальные напряжения в бетоне на площадке, перпендикулярной продольной оси элемента, на уровне центра тяжести сечения, расположенного посредине между сечениями III–III и IV–IV, от усилия предварительного обжатия N_0, определяются в соответствии с п. 4.II СНиП II-2I-75;

$$в_1 = \frac{0{,}7R_р J_п}{Q_{оп}(y_н - h_п)}; \qquad (40)$$

$$в_{1т} = \frac{0{,}7R_р J_п}{Q_т(y_н - h_п)}; \qquad (4I)$$

$S_н$ – статический момент площади сечения IV-IV высотой $x_н$, растянутой от действия внешней нагрузки, относительно оси, проходящей через центр тяжести указанного сечения; $y_н$ – расстояние от оси, проходящей через центр тяжести сечения IV–IV, до растянутого от действия внешней нагрузки края указанного сечения; $K_{yн}$ – коэффициент, учитывающий влияние местных сжимающих напряжений в бетоне от местного сжатия, возникающего вблизи приложения опорных реакций; при действии сосредоточенных сил и $a \leq 2h_0$, а также при действии равномерно распределенной нагрузки

$$K_{yн} = 1 + \frac{3Q_{оп}}{R_{пр} в h}; \qquad (42)$$

при действии сосредоточенных сил и $a > 2h_0$ коэффициент $K_{yн}$ принимается равным единице.

При действии сосредоточенных сил и пролете среза $a<1,6h_0$ расстояние от оси опоры до сечения $\overline{III}-\overline{III}$ — a_1, которое необходимо иметь при вычислении длины проекции наклонной трещины на продольную ось элемента c, принимается равным a (то есть расстоянию до первой сосредоточенной силы), а при пролете среза $a\geq 1,6h_0$ и при действии равномерно распределенной нагрузки определяется по формуле

$$a_1=\frac{x^2-x_\beta(2x+h_n-h-\delta_{1T}\cdot tg\beta)}{x_\beta\cdot tg\beta}. \qquad (43)$$

Значения G_{ax}, G_{a0}, F_{ax}, F_{a0}, $N_{0.кр}$, ρ_{a0}, ρ_{ax}, x, $\kappa_{y\beta}$ и z_1 расшифрованы, соответственно, в пп. 3.7 и 2.4 настоящих методических рекомендаций.

Величина Q_T определяется по формуле (4) приложения I.

При расчете элементов двутаврового сечения или таврового сечения с полкой в сжатой зоне в формулы (37), (40) и (4I) вводится момент инерции полного приведенного сечения. Если в результате определения x_β окажется, что $x_\beta>h'_n$, производится перерасчет x_β, при этом в формулы (37), (40) и (4I) вводится момент инерции приведенного сечения без учета свесов сжатой полки.

При поперечной арматуре в виде вертикальных стержней и одного наклонного стержня (отогнутой напрягаемой арматуры) в формуле (22) принимается $u_0=6d$, где d – диаметр стержня (каната, пучка), а в формулах (32) и (33) — $u_0=c$.

При поперечной арматуре только в виде вертикальных стержней

$$\sigma_{ax}=\frac{Q_{\overline{III}}-Q_{\delta\beta}-Q_{\delta H}-N_{0.кр}\cdot\sin\alpha}{F_{ax}\,c}\,u_x. \qquad (44)$$

При расчете элементов таврового сечения с полкой в сжатой зоне или прямоугольного сечения в формулах (36), (38), (40), (4I), (43) и в формуле (5) приложения I принимается $h_n=0,25h$.

С предельной величиной раскрытия трещин, установленной нормами, сравнивается большее из значений a_T, полученных по формулам (I9) и (20).

При сопоставлении средней опытной ширины раскрытия трещин с вычисленными по формулам (I9) и (20) величину a_T, полученную по соответствующей формуле, следует разделить на I,6.

Приложение I

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО УСИЛИЯ, ПРИ КОТОРОМ ОБРАЗУЮТСЯ НАКЛОННЫЕ ТРЕЩИНЫ

Если на рассматриваемом участке (по длине элемента) при действии кратковременных нагрузок и кратковременном действии постоянных и длительных нагрузок $M > M_T$ (см. рис. I), величину Q_T рекомендуется определять по формуле

$$Q_T = 1{,}5 R_p \left(1 + 5 \frac{\sigma_y}{R_{пр}}\right) b x, \qquad (I)$$

где

при действии сосредоточенных сил

$$\sigma_y = \frac{Q_T}{b h_0}\left(1 - \frac{x}{h_0}\right); \qquad (2)$$

при действии равномерно-распределенной нагрузки

$$\sigma_y = \frac{q}{b}\left(1 - \frac{x}{h_0}\right). \qquad (3)$$

Значение x расшифровано в п. 3.7 настоящих методических рекомендаций.

Если на рассматриваемом участке (по длине элемента) при действии кратковременных нагрузок и кратковременном действии постоянных и длительных нагрузок $M \leq M_T$ (см. рис. I), величину Q_T рекомендуется определять по формуле

$$Q_T = R_p \sqrt{1 + \frac{\sigma_x + \sigma_y}{R_p} + \frac{\sigma_x \cdot \sigma_y}{R_p^2}} \cdot \frac{J_п b}{S_п}, \qquad (4)$$

где

$$\sigma_y = \frac{0{,}4\, Q_{оп}}{b h}\left(\frac{h}{y_н - h_п} - 1\right)\left(1 - \frac{0{,}4\, b_1}{y_н - h_п}\right); \qquad (5)$$

$S_п$ - статический момент части сечения, расположенной по одну сторону от оси, проходящей через центр тяжести указанного сечения.

Значения σ_x и $y_н$ расшифрованы в п. 4.4 настоящих методических рекомендаций.

Приложение 2

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I.

Определить полную максимальную ширину раскрытия нормальных трещин в предварительно напряженной железобетонной балке (см. рисунок).

Исходные данные

Балка изготовлена из тяжелого бетона М 500; $E_б$ = 3,6.10^5 кгс/см2; R_p = 20 кгс/см2. Арматура А преднапряженная из стали класса А-У; F_a = 18,85 см2; E_a = 1,9.10^6 кгс/см2; ρ_a = 37,7 см; n_a = 5,3. Арматура А′ ненапряженная из стали класса А-III; F'_a = 4,52 см2; E_a = 2.10^6 кгс/см2. Характеристики сечения: F = 1184 см2; $F_п$ = 1310 см2; $J_п$ = 105.10^4 см4. Натяжение арматуры производится на упоры. Усилие предварительного обжатия с учетом всех потерь составляет N_o = 87650 кгс, эксцентриситет его относительно центра тяжести приведенного сечения - e_o = 34,6 см. Спуск натяжных устройств производится на 28 сутки. Уровень обжатия бетона $\sigma_{б.н}/R$ = 0,4. Балка загружена длительно действующей нагрузкой: равномерно-распределенной интенсивностью q = 3000 кгс/м и двумя сосредоточенными силами P = 4250 кгс, расположенными на расстоянии 400 см от осей опор. Расчетный пролет балки l = 1160 см. Максимальный момент M = 6746000 кгс.см.

Решение.

По формуле (159) [5] определяем:

$$\xi = \frac{1}{1{,}8 + \dfrac{1 + 5.(0{,}614 + 0{,}757)}{10.0{,}0165{,}3}} + \frac{1{,}5 + 0{,}828}{11{,}5\ \dfrac{76{,}7}{70} - 5} = 0{,}396$$

то есть $x = \xi \cdot h_o$ = 0,396.70 = 27,7 см.

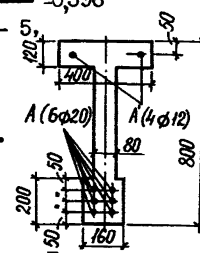
По формуле (164) [5] находим:

$$z_1 = 70\left[1 - \frac{12/70.0{,}828 + 0{,}396^2}{2(0{,}828 + 0{,}396)}\right] = 61{,}5 \text{ см}.$$

По формулам (5) и (6) вычисляем:

$$\kappa = 1 + \frac{5}{70 - 27{,}7} = 1{,}12;$$

$$K_a = \frac{1 - 8.27{,}7/800}{1 - 8.27{,}7/800 + 2{,}2.5{,}3.0{,}029} = 0{,}68.$$



Поперечное сечение балки

По таблице настоящих методических рекомендаций имеем $K_{сц}$ = 0,335.

Напряжения в продольной арматуре (сверх преднапряжения) на уровне центра тяжести её сечения [формула (11) настоящих методических рекомендаций]

$$\sigma_a = \frac{6746000 - 87650.61{,}5}{18{,}85.61{,}5} = 1170 \text{ кгс/см2};$$

ширина раскрытия трещин [формула (4)]

$$a_T = 3,2.1,5.1.1,12.0,68\ \frac{1170.18,85}{0,335.360000.37,7} = 0,018\ \text{см} = 0,18\ \text{мм}.$$

Пример 2.

Определить полную максимальную ширину раскрытия наклонных трещин, пересекающих продольную и поперечную арматуру предварительно напряженной железобетонной балки (см. рис. 4).

Исходные данные

Поперечная арматура в виде вертикальных стержней (хомутов) из стали класса А-III, $F_{ax} = 2,26$ см2 (2Ø12); $P_{ax} = 7,54$ см; $u_x = 30$ см; $n_{ax} = 5,55$; $G_{ax} = 66400$ кгс/см2; $a/h_0 = 3$; $N_0 = 20000$ кг; $\ell = 580$ см. Остальные данные приведены в примере 1.

Решение.

Сначала определим ширину раскрытия трещин на уровне центра тяжести сечения наиболее растянутого ряда продольной арматуры.

По аналогии с примером 1 находим:

$$\xi = \frac{1}{1,8 + \frac{1 + 5(0,135+0,757)}{10.0,016.5,3}} + \frac{1,5 + 0,828}{11,5\ \frac{74,4}{70} - 5} = 0,446;$$

$$x = 0,446.70 = 31,2\ \text{см};$$

$$z_1 = 70\left[1 - \frac{12/70.0,828 + 0,446^2}{2(0,828 + 0,446)}\right] = 60,5\ \text{см};$$

$$K_a = \frac{1 - 8.31,2/800}{1 - 8.31,2/800 + 2,2.5,3.0,029} = 0,67.$$

Определяем расстояние от оси опоры до сечения, проходящего через начало наклонной трещины (см. сечения II-II на рис.4) - b_1.

По формуле (120) [5] имеем

$M_T = 1487\ 640$ кгс.см.

Момент в сечении II-II равен

$$M = \frac{30\ell}{2} b_1 + 4250 b_1 - \frac{30 b_1^2}{2}.$$

При этом должно выполняться условие (см. рис. 1) $M = M_T$.

В результате $b_1 = 136$ см.

Поперечная сила в сечении II-II - $Q_{II} = 8870$ кгс, а в сечении I-I (то есть в сечении под сосредоточенной нагрузкой) $Q_I = 6650$ кгс.

Величина Q_T определяется по формуле (1) приложения 1, где для сосредоточенной нагрузки

$$\sigma_y = \frac{6650}{560}\left(1 - \frac{22}{70}\right) = 8,15\ \text{кгс/см2};$$

для равномерно-распределенной нагрузки

$$\sigma_y = \frac{30}{8}\left(1 - \frac{22}{70}\right) = 2,57\ \text{кгс/см2}.$$

Суммарная величина местных напряжений составляет

$\Sigma\sigma_y = 8,15 + 2,57 = 10,72$ кгс/см2.

С учетом этого

$$Q_T = 1,5.20\left(1 + 5\,\frac{10,72}{280}\right) 8.22 = 6300\ \text{кгс}.$$

Напряжения в продольной арматуре в сечении II – II определяются по формулам соответственно (II) и (I8) настоящих методических рекомендаций:

$$\sigma_{a.м} = \frac{I\ 487\ 640 - 20000.60,5}{I8,85.60,5} = 244 \text{ кгс/см2};$$

$$\sigma_{a.a} = \frac{8870.9806}{I05,0.I0^4.I6} = 5,I5 \text{ кгс/см2};$$

ширина раскрытия трещин – по формуле (I7)

$$a_т = 3,2.I,5.I.I,I2\ \frac{I}{I20600}\ \left(\frac{244.I8.0,67}{37,7} + 5,I5\ \frac{30}{2}\right) = 0,007 \text{ см} = 0,07 \text{ мм}.$$

Теперь определим ширину раскрытия трещин вдоль оси поперечной арматуры.

Придерживаясь последовательности, принятой ранее, находим:

$$\xi = \frac{I}{I,8 + \frac{I+5(0,I87 + 0,757)}{I0.0,0I6.5,3}} + \frac{I,5 + 0,828}{II,5\ \frac{I02,7}{70} - 5} = 0,3I4;$$

$$x = \xi h_0 = 0,3I4.70 = 22 \text{ см};$$

$$z_1 = 70\left[I - \frac{I2/70.0,828 + 0,3I4^2}{2(0,828 + 0,3I4)}\right] = 62,5 \text{ см}.$$

Длина проекции наклонной трещины на горизонтальную ось равна

$$c = a - \beta_1 = 2I0 - I36 = 74 \text{ см}.$$

Усилие сдвига в бетоне в сечении I – I определяется по формуле (28) настоящих методических рекомендаций, где

$$K_{y\beta} = I + \frac{4.30}{280.8} = I,054.$$

С учетом этого

$$Q_{\delta\beta} = \frac{0,67.6650.22}{62,5} \cdot I,054 = I650 \text{ кгс}.$$

Напряжение в поперечной арматуре определяется по формуле (3I) настоящих методических рекомендаций

$$\sigma_{ax} = \frac{6650 - I650}{2,26.74} \cdot 30 = 895 \text{ кгс/см2};$$

коэффициент K_x – по формуле (2I)

$$K_x = \frac{I}{I + 2.5,55.0,00943} = 0,905;$$

ширина раскрытия трещины – по формуле (I9)

$$a_т = 4.I,5.I.0,905\ \frac{895.2.26}{7,54.66400} = 0,22 \text{ см} = 0,22 \text{ мм}.$$

Пример 3.

Определить полную максимальную ширину раскрытия наклонных трещин, пересекающих поперечную арматуру предварительно напряженной железобетонной балки (см. рис. 5 настоящих методических рекомендаций).

Исходные данные

Поперечная арматура в виде вертикальных стержней (хомутов) из стали класса А-III; $F_{ax} = 2{,}26$ см2 (2Ø12); $P_{ax} = 7{,}54$ см; $u_x = 10$ см; $n_{ax} = 5{,}55$. Балка загружена длительно действующей нагрузкой: равномерно-распределенной интенсивностью q = = 4500 кгс/м и двумя сосредоточенными силами P = 9000 кгс, расположенными на расстоянии 210 см от осей опор. Остальные данные приведены в примере I.

Решение.

По формуле (4) приложение I, где [см. формулу п.4.11 [5] и формулу (5) приложения I]

$$\sigma_x = \frac{87650}{1310} = 66{,}8 \text{ кгс/см2};$$

$$\sigma_y = \frac{0{,}4.35100}{8.80}\left(\frac{80}{44{,}6 - 20} - 1\right)\left(1 - \frac{0{,}4.17}{44{,}6 - 20}\right) = 35{,}8 \text{ кгс/см2}$$

находим

$$Q_т = 20\sqrt{1 + \frac{66{,}8 + 35{,}8}{20} + \frac{66{,}8.35{,}8}{400}} \cdot \frac{105.0{,}10^4.8}{17000} =$$

$$= 34400 \text{ кгс}.$$

Опорная реакция равна

$$Q_{оп} = 0{,}5ql + P = 0{,}5.45.1160 + 9000 = 35100 \text{ кгс}.$$

По формулам (40) и (41) настоящих методических рекомендаций имеем:

$$\beta_1 = \frac{0{,}7.20.105.0.10^4}{35100\ (44{,}6-20)} = 17 \text{ см};$$

$$\beta_{1т} = \frac{0{,}7.20.105.0.10^4}{34100\ (44{,}6-20)} = 17{,}4 \text{ см}.$$

По формуле (39) находим

$$tq\beta = \frac{1}{\sqrt{1 + 66{,}8/20}} = 0{,}48.$$

Высота части сечения IV–IV (см. рис. 5) под наклонной трещиной равна

$$x_н = \frac{400}{20 + (17{,}4 - 17)\ 0{,}48} = 19{,}8 \text{ см}.$$

По аналогии с примером I находим:

$$\xi = \frac{1}{1{,}8 + \dfrac{1 + 5(0{,}582 + 0{,}757)}{10.0{,}016.5{,}3}} + \frac{1{,}5 + 0{,}828}{11{,}5\ \dfrac{72{,}8}{70} - 5} = 0{,}428;$$

$$x = \xi \cdot h_0 = 0{,}428.70 = 30 \text{ см};$$

$$z_1 = 70\left[1 - \frac{12/70.0{,}828 + 0{,}428^2}{2\ (0{,}828 + 0{,}428)}\right] = 61 \text{ см}.$$

По формуле (37) настоящих методических рекомендаций определяем

$$x_б = 2\,\frac{106{,}0.10^4 - 0{,}67.11009.19{,}8}{105{,}0.10^4\,[30.(320-0{,}5.19{,}8) - 17.61]}\cdot\frac{30^2}{0{,}48}\cdot 61 =$$

$= 23{,}8$ см.

Расстояние от оси опоры до вершины наклонной трещины в сжатой зоне

$$a_1 = \frac{30^2 - 23{,}8\,(60 + 20 - 17{,}4.0{,}48 - 80)}{23{,}8.0{,}48} = 96{,}3 \text{ см.}$$

Длина проекции наклонной трещины на горизонтальную ось

$$c = a_1 - b_1 = 96{,}3 - 17 = 79{,}3 \text{ см.}$$

Поперечная сила в сечении III — III (см. рис. 5) - $Q_и$ = 30760 кгс, а в сечении IV–IV - Q_{IV} = 34335 кгс.

Усилия сдвига в бетоне, соответственно, в сечении III–III и IV–IV определяются по формулам (34), (35) настоящих методических рекомендаций , где

$$K_{уб} = 1 + \frac{4{,}45}{280.8} = 1{,}08.$$

С учетом этого:

$$Q_{бв} = \frac{0{,}67.30760.23{,}8}{61}\sqrt{\frac{23{,}8}{30}}\;1{,}08 = 7730 \text{ кгс;}$$

$$Q_{бн} = \frac{0{,}67.34335.11009}{105{,}0.10^4}\;19{,}8 = 4776 \text{ кгс.}$$

Напряжение в поперечной арматуре определяется по формуле (44) настоящих методических рекомендаций:

$$\sigma_{ax} = \frac{30760 - 7730 - 4776}{2{,}26.79{,}3}\;10 = 1019 \text{ кгс/см2;}$$

коэффициент K_x - по формуле (21)

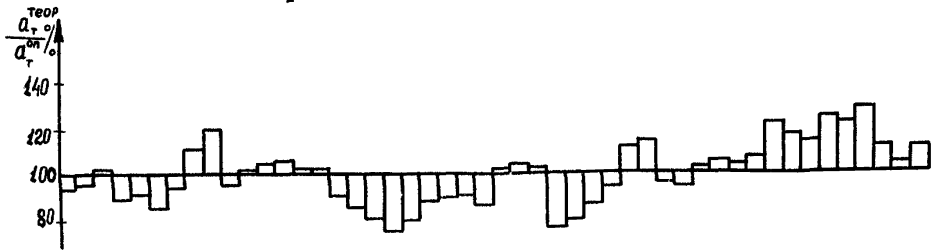
$$K_x = \frac{1}{1 + 2.5{,}55.0{,}0283} = 0{,}761;$$

ширина раскрытия трещины - по формуле (19)

$$a_т = 4.1{,}5.1.0{,}761\,\frac{1019.2{,}26}{7{,}54.66400} = 0{,}021 \text{ см} = 0{,}21 \text{ мм.}$$

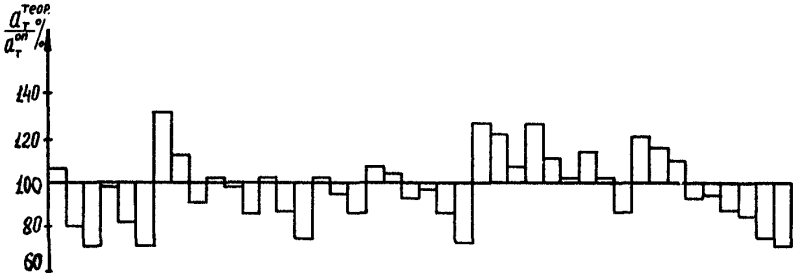
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ

На диаграммах рис. I–4 сопоставлены теоретические значения $a_т$ в широком диапазоне изменения основных факторов с опытными, полученными в НИИСК Ю.А.Волковым, В.Ф.Усмановым и СмоляговГ.А.под руководством А.Б.Голышева (см. научно-технические отчеты НИИСК Госстроя СССР за I975–I982 гг.).



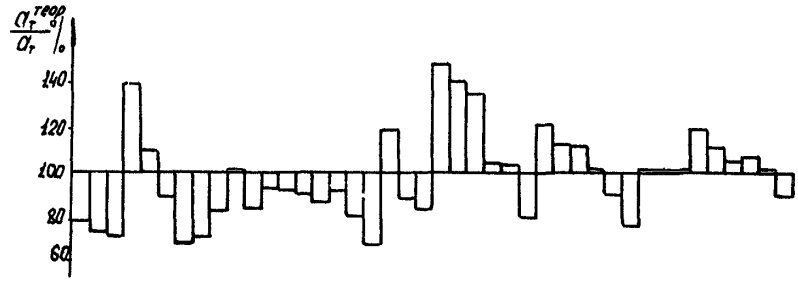
ШИФР ОБРАЗЦА	БХ-I-I3	БХ-I-2	БХ-I-2	БС-I-2	БО-IV-2	БХ-II-I3	БХ-II-2	БХ-I-3	БХ-I-4	БХ-II-3	БХ-II-4	БХ-VIII-8	БХ-IV-I3-8	БХ-I-2-8	БХ-V-3-8	БХ-VII-2-8
ВИД НАГРУЗКИ	сосредоточенная											равномерно-распределенная и смешанная				
a/h_o	1,3 - 2							3 - 4				-	1,3 - 3			
$M/M_{РАЗР}$	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6

Рис. I. Отношение теоретической ширины раскрытия нормальных трещин к средней опытной (опыты НИИСК I980–I982 гг.)



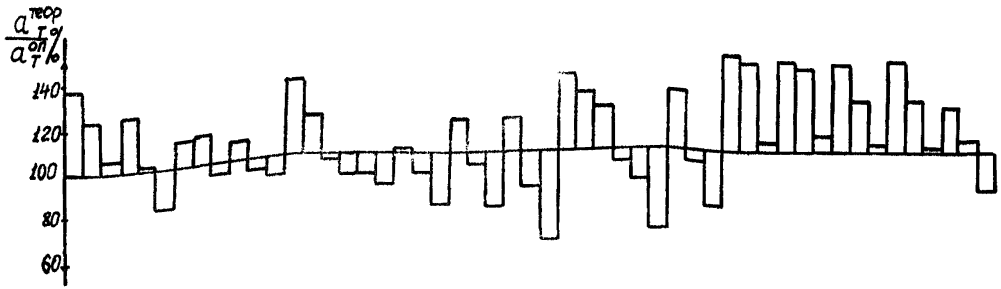
ШИФР ОБРАЗЦА	БДХ-101	БДХ-102	БДХ-151	БДХ-152	БДХ-153	БДХ-201	БДХ-202	БДХ-204	БДХ-205	БДХ-206	БДО-101	БДО-102	БДО-103	БДХ-154
ВИД НАГРУЗКИ	сосредоточенная													
a/h_o	2,4									1,6	2,4			1,6
$M/M_{разр}$	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6

Рис. 2. Отношение теоретической ширины раскрытия наклонных трещин (пересекающих продольную и поперечную арматуру) вдоль оси продольной арматуры к средней опытной (опыты НИИСК 1975-1977 гг.)



Шифр образца	БДХ-101	БДХ-102	БДХ-102	БДХ-151	БДХ-153	БДХ-153	БДХ-154	БДХ-201	БДХ-203	БДО-101	БДО-102	БДО-102	БДО-103	БДХ-154
Вид нагрузки	сосредоточенная													
a/h_0	2,4	1,6	2,4		1,6	2,4	1,6	2,4	1,6	2,4		1,6	2,4	
$M/M_{разр}$	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6	0,4 0,5 0,6

Рис. 3. Отношение теоретической ширины раскрытия наклонных трещин (пересекающих продольную и поперечную арматуру) вдоль оси поперечной арматуры к средней опытной (опыты НИИСК 1975–1977 гг.)



Шифр образца	Бх-I-1,3	Бх-I-2	Бх-V-2	Бс-V-2	БО-IУ-2	Бх-II-1,3	Бх-II-2	Бх-I-3	Бх-I-4	Бх-XIУ-3	Бх-II-3	Бх-II-4	Бх-УШ-3	Бх-III-1,3	Бх-IУ-2	Бх-УШ-3	Бх-УШ-2
Вид нагрузки	сосредоточенная												Равномерно-распределенная и смешанная				
a/h_0	1,3 - 2							3 - 4					–	1,3 - 3			
$M/M_{разр}$	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7	0,4 0,5 0,6 0,7

Рис. 4. Отношение теоретической ширины раскрытия наклонных трещин (пересекающих поперечную арматуру) вдоль оси поперечной арматуры к средней опытной (опыты НИИСК 1980-1983 гг.)

Приложение 4

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

I. Усилия

M, N и Q – изгибающий момент, продольная и поперечная силы;
$Q_{оп}$ – опорная реакция от внешней нагрузки;
q – интенсивность равномерно распределенной нагрузки;
N_o – усилие предварительного обжатия, с учетом потерь напряжения, соответствующих рассматриваемой стадии работы элемента [9];
$M_т$ – изгибающий момент, воспринимаемый рассматриваемым сечением элемента при образовании нормальной трещины [9];
$Q_т$ – поперечная сила, воспринимаемая рассматриваемым сечением элемента при образовании наклонной трещины (см. прил. I);
$R_р$ – предельное сопротивление бетона осевому растяжению;
$E_б$ – модуль упругости бетона;
$E_а$ – модуль упругости продольной арматуры и поперечной арматуры в виде наклонных (отогнутых) стержней;
$E_{ах}$ – модуль упругости поперечной арматуры в виде вертикальных стержней

2. Геометрические характеристики

$J_п$ – момент инерции приведенного сечения элемента относительно оси, проходящей через центр тяжести указанного сечения;
h и h_o – полная и рабочая высота сечения элемента;
$в$ – ширина ребра элемента;
$в'_п$ и $h'_п$ – ширина и высота сжатой полки элемента;
$в_п$ и $h_п$ – то же, растянутой полки;
a – пролет среза (т.е. расстояние от оси опоры до первой сосредоточенной силы);
l – расчетный пролет элемента.

ЛИТЕРАТУРА

I. Инструкция по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из плотного силикатного бетона. СН 165-76. - М.: Стройиздат, 1977. - 48 с.

2. Кузнецов Л.В. О расчете наклонных сечений предварительно напряженных железобетонных балок по образованию трещин. - В кн.: Прочность и деформативность железобетонных конструкций. - Киев: Будівельник , 1978. - с. 61-66.

3. Методические рекомендации по расчету железобетонных изгибаемых элементов. - Киев: НИИСК, 1979. - 66 с.

4. Проектирование и изготовление сборно-монолитных конструкций. - Киев: Будівельник , 1975. - 189 с.

5. Строительные нормы и правила, СНиП II-21-75. Бетонные и железобетонные конструкции. - М., 1976.

6. Торяник М.С., Митрофанов В.П. Положение опасных наклонных трещин железобетонных балок. - В кн.: Совершенствование методов расчета и исследование новых типов железобетонных конструкций. Межвузовский тематический сборник, 2 (129). - Ленинград, 1977. - с. 21-30.

7. Чупак И.М., Залесов А.С., Корейба С.А. Сопротивление железобетонных элементов действию поперечных сил. - Кишинев: Штиинца , 1981. - 131 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
I. Общие положения	3
2. Определение ширины раскрытия нормальных трещин	5
3. Определение ширины раскрытия наклонных трещин, пересекающих продольную и поперечную арматуру	9
4. Определение ширины раскрытия наклонных трещин, пересекающих поперечную арматуру	I3
Приложение I. Определение поперечного усилия, при котором образуются наклонные трещины	I7
Приложение 2. Примеры расчета	I8
Приложение 3. Экспериментальное обоснование	23
Приложение 4. Условные обозначения	27
Литература	28

Научно-исследовательский институт строительных конструкций Госстроя СССР

Александр Борисович ГОЛЫШЕВ
Юрий Александрович ВОЛКОВ
Валиахмат Файзуллаевич УСМАНОВ
Геннадий Алексеевич СМОЛЯГО

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН
В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Редактор А.И.Кашитоненко

Передано в произв. 04.08.82. Подп. к печ. 2I.07.82. БФ 36524.
Формат бум. 60х84 1/16. Бумага для множ. ап. Офсетная печать.
1,627 усл.п.л., 2,0 уч.-изд.л., 1,75 п.л. Тираж 295 экз.
Зак. 1615. Цена 20 к.

Научно-исследовательский институт строительных конструкций
Госстрой СССР
252180, Киев, ул. И.Клименко,5/2

Фотопечатная лаборатория НИИСК Госстроя УССР
252180. Киев, ул. И.Клименко,5/2

gost.e-ecolog.ru