

# НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО НОВЫМ НОРМАМ\*

В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

## 7.2. РАСЧЕТ ПО РАСКРЫТИЮ ТРЕЩИН

Расчет, как и раньше, выполняют в двух вариантах – по продолжительному и непродолжительному раскрытию трещин из условия:

$$a_{crc} \leq a_{crc,u'}$$

где  $a_{crc}$  – расчетная ширина раскрытия трещин при действии внешней нагрузки,  $a_{crc,u}$  – предельно допустимая ширина раскрытия трещин, значения которой остались прежними (табл. 14). Правда, условия, при которых вводятся те или иные зна-

представляет собой четырехэтапный процесс, условная схема которого показана на рис. 9.

Вначале вычисляют ширину продолжительного раскрытия трещин от длительного действия постоянной и длительной нагрузок  $F_1$  (точка 2 на рис. 9), которую в старых Нормах обозначали как  $a_{crc2'}$ , а в СП – как  $a_{crc1}$ . Затем вычисляют ширину непродолжительного раскрытия трещин от кратковременного действия полной нагрузки  $F_{tot}$  (точка 3), которую в старых Нормах никак не

Таблица 14

**Предельно допустимая ширина раскрытия трещин  $a_{crc,u}$**

По старым Нормах			По новым Нормах (СП)		
Условие	Раскрытие	$a_{crc,u'}$ , мм	Условие	Раскрытие	$a_{crc,u'}$ , мм
В помещении, на открытом воздухе, в грунте выше или ниже уровня грунтовых вод	Непродолжительное	0,4	Обеспечение сохранности арматуры	Непродолжительное	0,4
	Продолжительное	0,3		Продолжительное	0,3
В грунте при переменном уровне грунтовых вод	Непродолжительное	0,3	Ограничение проницаемости конструкций	Непродолжительное	0,3
	Продолжительное	0,2		Продолжительное	0,2

чения  $a_{crc,u'}$  изложены не в конкретной, а в обтекаемой форме и оставляют проектировщику право самому определять нужные предельные значения.

Остался прежним и смысл понятия «внешняя нагрузка». При расчете непродолжительного раскрытия трещин – это полная нормативная нагрузка, включая постоянную, длительную и кратковременную, а при расчете продолжительного раскрытия трещин – сумма постоянной и длительной нормативной нагрузки. Как и прежде, вычисление ширины непродолжительного раскрытия трещин от действия полной нагрузки

обозначали, а в СП – как  $a_{crc2}$ . Затем – ширину непродолжительного раскрытия трещин от кратковременного действия постоянных и длительных нагрузок  $F_1$  (точка 4), которую в старых Нормах тоже никак не обозначали, а в СП обозначают как  $a_{crc3}$ . Отсюда получают ширину непродолжительного раскрытия трещин  $a_{crc}$  (точка 1, которую в старых Нормах обозначали как  $a_{crc1}$ ):

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3'}$$

где разность  $(a_{crc2} - a_{crc3'})$ , т.е. расстояние между точками 3 и 4, есть приращение ширины непродолжительного раскрытия трещин при действии кратковременной нагрузки  $F_{sh}$ . В Пособии [5] к старым Нормах допускается расчет выполнять

\*Продолжение. Начало в №№4, 6, 2006 и №№2, 5, 6 2007.



только по продолжительному раскрытию трещин от действия постоянных и длительных нагрузок  $F_1$ , если отношение  $M_{r1}/M_r \geq 2/3$ , где  $M_{r1}$  и  $M_r$  моменты внешних сил в сечении относительно ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой грани, соответственно от действия постоянной и длительной нагрузки и от действия полной нагрузки. В СП [2] и Пособии к нему [4] такое «послабление» для проектировщика отсутствует.

Определение расчетной ширины раскрытия трещин изменилось более существенно (табл. 15).

Расстояние между трещинами (по СП) находят из выражения:

$$l_s = 0,5(A_{bt} / A_s)d_s,$$

где  $A_{bt}$  – площадь сечения растянутого бетона, которую находят из расчета по образованию трещин,  $A_s$  и  $d_s$  – площадь сечения и диаметр арматуры. Полученная величина  $l_s$  должна быть не менее  $10d_s$  и 10 см и не более  $40d_s$  и 40 см.

При различных диаметрах растянутых стержней расчетное значение  $d_s$  принимается, как и по старым Нормам, равным:  $d_s = (n_1 d_1^2 + \dots + n_k d_k^2) / (n_1 d_1 + \dots + n_k d_k)$ , где  $d_1 \dots d_k$  – диаметры стержней,  $n_1 \dots n_k$  – число стержней соответствующего диаметра.

По старым Нормам, напряжения в растянутой арматуре вычисляют по формулам (рис. 10):

– при центральном растяжении:  $\sigma_s = N/A_s$ ,

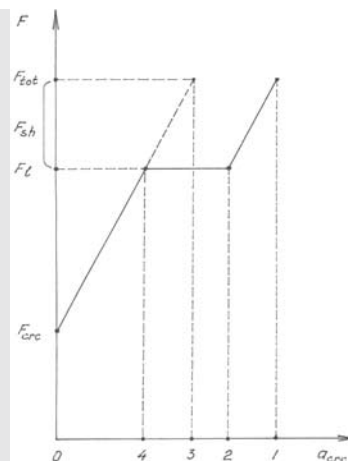
– при изгибе:  $\sigma_s = M/(A_s z)$ ,

– при внецентренном сжатии («–») и растяжении («+»):  $\sigma_s = N(e_s \pm z)/(A_s z)$ ,

где  $e_s$  – эксцентриситет силы  $N$  относительно центра тяжести площади сечения арматуры  $A_s$ ;  $z$  – расстояние от центра тяжести площади

Рис. 9. Условная схема раскрытия трещин:

$F_{tot}$  – полная нагрузка,  
 $F_1$  – постоянная и длительная нагрузка,  
 $F_{sh}$  – кратковременная нагрузка,  
 $F_{crc}$  – нагрузка в момент образования трещин,  $a_{crc}$  – ширина раскрытия трещин.



сечения арматуры  $A_s$  до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне сечения (плечо внутренней пары сил).

При расположении растянутой арматуры в несколько рядов по высоте сечения величину  $\sigma$ , полученную для волокна на уровне центра тяжести  $A_s$ , умножают на коэффициент  $\delta > 1$ , учитывающий более высокие напряжения в крайнем ряду стержней.

Для внецентренно растянутых элементов с эксцентриситетом  $e_s < 0,8h_0$  плечо  $z$  принимают равным расстоянию между центрами тяжести площадей сечения растянутой и сжатой арматуры:  $z = z_s = h_0 - a - a'$ . В остальных случаях определение  $z$  представляет собой многодельный процесс, связанный с вычислением большого числа коэффициентов и параметров сечения.

Правда, в Пособии к СНиП [5] дан упрощенный способ определения  $\sigma_s$ , основанный на допущении, что напряжения в арматуре после

Таблица 15

**Формулы расчета ширины раскрытия трещин**

Наименование	По старым Нормам	По новым Нормам (СП)
Ширина раскрытия $a_{crc,cr}$ , мм	$\delta \varphi_1 \eta (\delta_s / E_s) 20(3,5-100 \mu)^3 \sqrt{d}$	$\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s (\delta_s / E_s) l_s$
Характер нагружения: изгиб и внецентрен. сжатие растяжение	$\delta = 1,0$ $\delta = 1,2$	$\varphi_3 = 1,0$ $\varphi_3 = 1,2$
Действие нагрузки: непродолжительное продолжительное	$\varphi = 1,0$ $\varphi = 1,6 - 15\mu$	$\varphi_1 = 1,0$ $\varphi_1 = 1,4$
Профиль арматуры: периодический (стержни) периодический (проволока) гладкий (стержни)	$\eta = 1,0$ $\eta = 1,2$ $\eta = 1,3$	$\varphi_2 = 0,5$ $\varphi_2 = 0,5$ $\varphi_2 = 0,8$
Напряжение в арматуре, МПа	$\delta_s$	$\delta_s$
Модуль упругости стали, МПа	$E_s$	$E_s$
Коэффициент армирования	$\mu = A_s / (bh_0) \leq 0,02$	
Диаметр арматуры, мм	$d$	
Расстояние между трещинами, мм		$l_s$



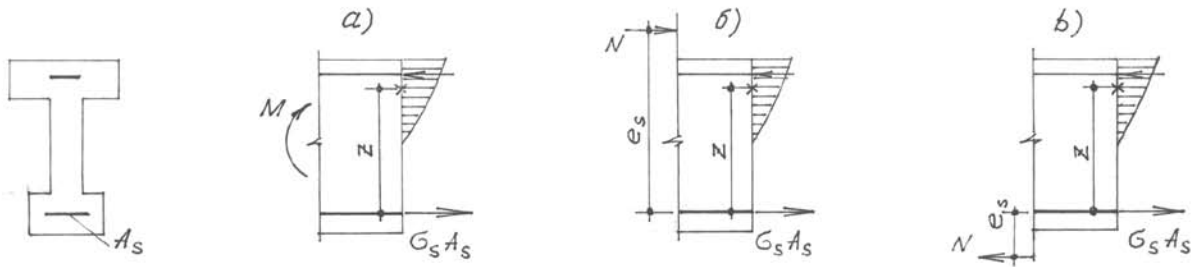


Рис. 10. К определению напряжений  $\sigma_s$  по СНиП 2.03.01-84\*: а) при изгибе, б) при внецентренном сжатии, в) при внецентренном растяжении.

образования трещин растут пропорционально росту нагрузки:

– при изгибе:  $\sigma_s = R_s M/M_u$ ,

где  $M_u$  – предельный момент по прочности (величина которого уже определена проектировщиком, если он выполнял расчет прочности нормальных сечений),

– при внецентренном сжатии:

$$\sigma_s = Ne_s \varphi_{cr} / (A_s h_0),$$

где  $\varphi_{cr}$  – коэффициент, зависящий от нескольких параметров сечения и определяемый по таблице.

В новых Нормах (СП) формулы напряжений представлены в ином виде (рис. 11):

– при изгибе:  $\sigma_s = M(h_0 - y_c) \alpha_{s1} / I_{red}$ ,

где  $I_{red}$  и  $y_c$  – момент инерции приведенного сечения и расстояние от сжатой грани до центра тяжести приведенного сечения,

$\alpha_{s1} = E_s / E_{b,red}$  – коэффициент приведения арматуры к бетону,

$E_{b,red} = R_{b,ser} / \varepsilon_{b1,red}$  – приведенный модуль деформации бетона, учитывающий неупругие деформации сжатого бетона (здесь  $\varepsilon_{b1,red} = 0,0015$ ).

– при внецентренном сжатии («–») и растяжении («+»):

$$\sigma_s = [M(h_0 - y_c) / I_{red} \pm N / A_{red}] \alpha_{s1},$$

где  $A_{red}$  – площадь приведенного сечения.

Лишь при центральном растяжении формула осталась прежней:  $\sigma_s = N / A_s$ .

Как видно из сопоставления, методика расчета ширины раскрытия трещин, впервые в мире

созданная в 1940 г. В.И. Мурашевым, подверглась изменениям. Трудно судить, насколько эти изменения подтверждены результатами экспериментов, но нельзя не заметить, что за 50 с лишним лет методика Мурашева, достаточно ясная в первоначальной редакции, сильно обросла всевозможными эмпирическими коэффициентами, которые закрыли физический смысл расчета. Правда, и новая методика большой ясностью не отличается, хотя в ней и использован тот же методологический подход, основанный на особенностях работы арматуры на участках между трещинами и нарушении сцепления арматуры с бетоном по берегам трещины.

Что касается сопоставления результатов расчета по старым и новым Нормах, то лучше всего они проиллюстрированы в Пособиях [4, 5]. В новом и старом документах приведены три одинаковых примера расчета. Некоторые результаты, взятые из этих примеров, даны в табл. 16.

Эти примеры показывают, насколько велика разница в результатах: по сравнению с результатами старых расчетов она колеблется от +42 до – 26%. Учитывая, что результаты многочисленных испытаний в свое время неплохо совпадали с результатами старых расчетов (разница между опытной и расчетной шириной раскрытия трещин в изгибаемых конструкциях редко превышала  $\pm 20\%$ ), есть основания сомневаться в достаточной точности новых расчетных формул.

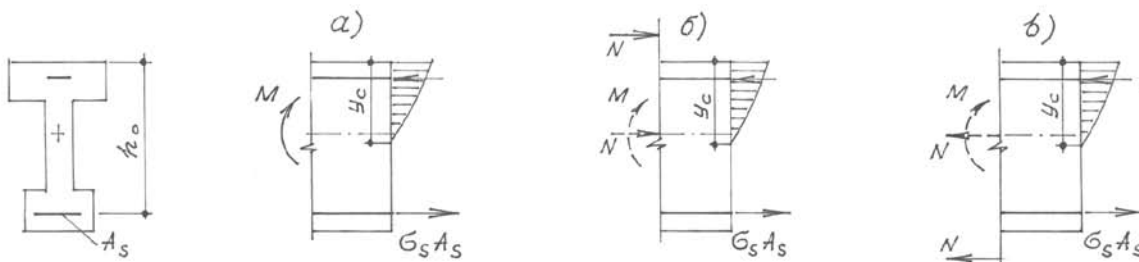


Рис. 11. К определению напряжений  $\sigma_s$  по СП 52-101-2003 а) при изгибе, б) при внецентренном сжатии, в) при внецентренном растяжении.



**Сравнительные результаты расчета ширины раскрытия нормальных трещин**

Наименование	По старому Пособию [5]*	По новому пособию [4]
<b>Железобетонная ребристая плита</b>		
№ примера	Пример 53	Пример 42
Исходные данные	h = 400 мм, a = 58 мм, бетон В25, арматура в одном ребре 2Ø22 А-III (А400), момент от постоянных и длительных нагрузок M <sub>l</sub> = 69 кН·м	
Напряжения в арматуре**	$\sigma_s = 294$ МПа	$\sigma_s = 294,8$ МПа
Ширина продолжительного раскрытия трещин	$a_{cr2} = 0,16$ мм < 0,3 мм	$a_{cr1} = 0,228$ мм < 0,3 мм
<b>Железобетонная плита фундамента выше уровня грунтовых вод</b>		
№ примера	Пример 54	Пример 43
Исходные данные	b = 1150 мм, h = 300 мм, a = 42 мм, бетон В15, арматура 6Ø14А-III (А400), момент от постоянных и длительных нагрузок M <sub>l</sub> = 63 кН·м, от кратковременных нагрузок M <sub>sh</sub> = 4 кН·м	
Напряжения в арматуре**	$\sigma_s = 286$ МПа	$\sigma_s = 236$ МПа
Ширина продолжительного раскрытия трещин	$a_{cr2} = 0,269$ мм < 0,3 мм	$a_{cr1} = 0,20$ мм < 0,3 мм
<b>Железобетонная колонна промздания</b>		
№ примера	Пример 55	Пример 44
Исходные данные	b = 400 мм, h = 500 мм, a = a' = 50 мм, бетон В15, арматура 2Ø28+2Ø28 А-III (А400), усилия от постоянных и длительных нагрузок: N <sub>l</sub> = 500 кН, M <sub>l</sub> = 150 кН·м; от кратковременных нагрузок: N <sub>sh</sub> = 0, M <sub>sh</sub> = 90 кН·м	
Напряжения в арматуре**(***))	$\sigma_s = 149$ (320) МПа	$\sigma_s = 144$ (331) МПа
Ширина продолжительного раскрытия трещин	$a_{cr1} = 0,34$ мм < 0,4 мм	$a_{cr} = 0,36$ мм < 0,4 мм

\* примеры расчета в Пособии [5] выполнены по упрощенной схеме, \*\* напряжения при действии постоянной и длительной нагрузок, \*\*\* то же, при действии полной нагрузки.

**ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ**

В расчете железобетонных конструкций с обычным армированием по раскрытию трещин сохранены прежние базовые принципы, а именно – необходимость определения ширины продолжительного раскрытия трещин при действии постоянных и длительных нормативных нагрузок и непродолжительного раскрытия трещин при действии полной нормативной нагрузки. Сохранены также и прежние ограничения по ширине раскрытия трещин.

Существенно изменился порядок расчета самой ширины раскрытия трещин, который, однако, по количеству вычислительных операций мало отличается от упрощенного расчета, приведенного в Пособии [5] к старым Нормам. Вместе с тем, расчеты дают весьма существенную разницу в результатах, что вызывает определенные сомнения в достаточной точности новой методики.

**Библиографический список:**

1. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
2. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.
3. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции (с изменениями 1988 г.).
4. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003).
5. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84) – М., 1989.

(Продолжение в одном из ближайших номеров)

