

В.К. СТЕПАНЮК, В.И. НИКИТИН,
канд.—ты техн.наук
(БИСИ),
Г.П. ПАСТУШКОВ, канд.техн.наук
(БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ И ЗАКРЫТИЯ ТРЕЩИН В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОВТОРНЫХ НАГРУЗОК

СНиП II—21—75 предусматривается расчет по закрытию трещин предварительно напряженных изгибаемых элементов, к которым предъявляются требования второй категории трещиностойкости. В этих элементах при полной нормативной нагрузке допускается ограниченное по ширине кратковременное раскрытие нормальных трещин. Однако при действии части нагрузки (длительно действующей) они должны быть надежно закрыты (зажаты). Эти новые положения вызывают необходимость исследовать поведение элементов при повторных статических (немногократных) воздействиях, так как ширина раскрытия трещин может увеличиться и превысить допустимую.

В качестве основной задачи исследования поставлена разработка практических рекомендаций по определению ширины раскрытия трещин и их закрытия в зависимости от некоторых факторов.

При планировании экспериментов нами учтены следующие четыре фактора:

$M_{пов}/M_T$ —отношение величины изгибающего момента от повторной; нагрузки к моменту появления трещин (условно назван уровнем повторной нагрузки); σ_{02}/σ_{02} — относительное предварительное напряжение продольной арматуры; μ —процент продольного армирования элемента; R — кубиковая прочность бетона в момент испытания.

Влияние факторов исследовалась на трех различных уровнях (табл. 1).

В опытах использовались образцы прямоугольного сечения $b \times h = 12 \times 24$ см длиной 300 см, которые армировались высокопрочной проволокой периодического профиля $\phi 5$ мм класса Вр—II. Для приготовления аглопоритобетона указанных марок в качестве мелкого заполнителя применялся кварцевый песок с модулем крупности 2,45, крупным заполнителем служил аглопорит фракций 10—40 мм. Аглопоритобетонная смесь готовилась на портландцементе марки 600.

Эксперимент проводился по схеме 3×3 латинского квадрата второго порядка с повторными опытами. Как известно, подобный план обладает рядом оптимальных свойств, позволяющих наиболее эффективно использовать многомерное факторное пространство, минимизировать число опытов и достаточно просто выполнить статистический анализ.

Многочисленные исследования, выполненные отечественными и зарубежными авторами, позволили достаточно полно определить факторы, влияющие на ширину раскрытия трещин. В частности отмечено, что она находится

Таблица 1. Уровни исследуемых факторов

Факторы	Уровни факторов		
	1	2	3
$M_{пов}/M_T$	1,0	1,3	1,6
$\sigma_{ср}$, МПа	3,5	5,0	6,5
μ , %	0,30	0,45	0,60
R , МПа	30,0	40,0	50,0

Таблица 2. Сравнение опытных значений ширины раскрытия трещин с теоретическими для аглопоритобетонных предварительно напряженных изгибаемых образцов

Шифр балок	$\frac{M_{пов}}{M_T}$	μ , %	Опытная ширина раскрытия трещин, мм		Теоретическая ширина раскрытия трещин, мм		
			максимальная при первичном нагружении	максимальная при повторном нагружении	По СНиП II-V, I-62*	По СНиП II-21-75	по формуле (1)
БН-I-1	1,0	0,283	0,012	0,03	0,016	0,031	0,028
	1,3		0,085	0,15	0,068	0,064	0,11
	1,6		0,16	0,18	0,146	0,099	0,17
БН-I-4	1,0	0,283	0,012	0,03	0,015	0,028	0,027
	1,3		0,065	0,110	0,054	0,061	0,105
	1,6		0,12	0,165	0,13	0,096	0,170
БН-I-6	1,0	0,283	0,01	0,022	0,016	0,029	0,025
	1,3		0,055	0,10	0,093	0,069	0,096
	1,6		0,125	0,16	0,20	0,120	0,16
БН-II-2	1,0	0,431	0,02	0,03	0,048	0,053	0,022
	1,3		0,050	0,10	0,080	0,072	0,085
	1,6		0,15	0,17	0,107	0,088	0,140
БН-II-3	1,0	0,431	0,015	0,02	0,028	0,039	0,020
	1,3		0,045	0,08	0,080	0,070	0,085
	1,6		0,10	0,15	0,137	0,106	0,132
БН-III-5	1,0	0,431	0,008	0,025	0,008	0,020	0,020
	1,3		0,06	0,08	0,034	0,044	0,08
	1,6		0,12	0,14	0,79	0,072	0,131
БН-III-2	1,0	0,582	0,01	0,03	0,009	0,027	0,025
	1,3		0,035	0,07	0,028	0,044	0,076
	1,6		0,07	0,11	0,05	0,060	0,123
БН-III-3	1,0	0,582	0,009	0,019	0,013	0,028	0,023
	1,3		0,035	0,07	0,038	0,048	0,071
	1,6		0,08	0,11	0,64	0,068	0,115
БН-III-5	1,0	0,582	0,008	0,015	0,008	0,023	0,017
	1,3		0,032	0,065	0,036	0,045	0,065
	1,6		0,075	0,10	0,073	0,073	0,105

почти в линейной зависимости от величины напряжений в арматуре. Нами установлено, что здесь большое значение имеют также повторные нагрузки (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что максимальная ширина трещин после 50 циклов значительно отличается от первоначальной и зависит от величины повторной нагрузки. В результате статистической обработки опытных данных, выполненной на ЭВМ "Минск-22М", было установлено, что ширина раскрытия трещин при действии повторных нагрузок зависит от относительного уровня нагрузки, процента армирования и предварительного напряжения арматуры. Чем меньше отношение $M_{пов}/M_T$, тем больше приращение ширины раскрытия при повторных нагрузках. С увеличением отношения $M_{пов}/M_T$, но не более чем вдвое, требуется меньшее число нагружений для стабилизации трещин. Изменение ширины раскрытия трещин связано с деформациями в растянутой арматуре. При относительно невысоких уровнях повторной нагрузки процесс образования и развития трещин еще не закончен. Последующие повторные нагружения вызывают возникновение новых трещин, а следовательно, увеличиваются средние деформации арматуры, что определяет ширину раскрытия трещин.

Исследования предварительно напряженных балок на разных уровнях нагрузки показали, что необходим дифференцированный подход к определению ширины раскрытия трещин. Это вызвано тем, что с увеличением уровня повторной нагрузки изменение ширины раскрытия трещин происходит не по линейной зависимости.

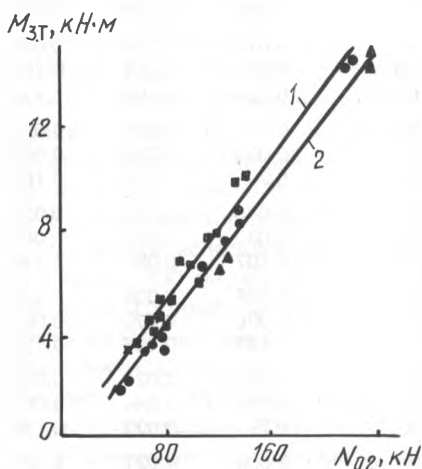


Рис. 1. Зависимость моментов закрытия трещин $M_{з.т}$ от силы предварительного напряжения арматуры: 1 — при $e_{02}/r_R = 0,3$; 2 — при $e_{02}/r_R = 0,9$; опыты: \circ — В.И. Искубайтиса; \blacktriangle — Е.И. Дмитриковой; \blacksquare — В.К. Стеланюка.

Вследствие невозможности применения гипотезы плоских сечений для определения ширины раскрытия трещин при действии повторных нагрузок, а также сложности суждения о механизме их раскрытия нами получена аппроксимирующая формула

$$a_T = \left[0,47 \frac{M_{пов}}{M_T} - 0,08 \left(\frac{M_{пов}}{M_T} \right)^2 - 0,36 \right] \frac{0,33}{\mu^{0,7} (\sigma_{02}' / \sigma_{02})^{0,17}} \quad (1)$$

где a_T — максимальная ширина раскрытия трещин при повторных статических нагрузках, мм; μ — процент продольного армирования напрягаемой арматуры; $\tilde{\sigma}_{02}/\sigma_{02}$ — относительное предварительное напряжение арматуры. Влияние кубиковой прочности бетона оказалось незначительным.

Используя выражение (1), можно определить максимальную ширину раскрытия трещин на любом уровне повторной нагрузки, причем формула справедлива для значений $1 \leq M_{\text{пов}}/M_T < 2$. Сравнение опытных значений ширины раскрытия трещин с теоретическими значениями представлено в табл. 2.

Закрытие трещин в предварительно напряженных балках зависит от напряженного состояния арматуры. С возникновением в арматуре неупругих деформаций в балках происходит неполное закрытие трещин даже при полной нагрузке образца.

Установлено, что главный фактор, влияющий на момент закрытия трещин, — сила предварительного напряжения арматуры. Зависимость момента закрытия трещин от силы предварительного напряжения арматуры показана на рис. 1.