

УДК 624.012.45

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА «РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ТРЕЩИНАМИ» В ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Жубрин А.Н., студент гр. СУЗиС-51, 5 курс  
Научный руководитель: Поздеев В.М., к.т.н., доцент  
Поволжский государственный технологический университет  
г. Йошкар-Ола

При расчетах железобетонных конструкций по второй группе предельных состояний важное значение имеет параметр «расстояние между трещинами» ( $l_s$ ). Например, указанная величина используется при расчете трещиностойкости. Согласно [1] теоретически ширина раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, определяется как разность удлинений арматуры и растянутого бетона на длине участка между трещинами длиной  $l_s$ :

$$a_{crc,i} = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{btm}) l_s$$

Далее авторы [1] указывают, что в нормах проектирования железобетонных конструкций, действовавших с 1984 по 2004 гг. (СНиП 2.03.01-84 [2]), данная формула напрямую не присутствовала, а была заменена на эмпирическую формулу (в миллиметрах):

$$a_{crc,i} = \delta \cdot \varphi_i \cdot \eta \cdot 20(3,5 - 100\mu) \frac{\sigma_s}{E_s} \sqrt[3]{d},$$

где  $\delta$ ,  $\varphi_i$ ,  $\eta$  – коэффициенты, учитывающие вид напряжённого состояния (изгиб, сжатие, растяжение), длительность действия нагрузок и профиль используемой арматуры.

В действующих с 2004 г. нормах проектирования железобетонных конструкций значение  $l_s$  используется уже в прямом виде, как компонент формулы для определения ширины раскрытия нормальных трещин (п. 8.2.15 СП 63.13330.2018 [3]):

$$a_{crc,i} = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot l_s,$$

где  $l_s$  – базовое (без учета влияния вида поверхности арматуры) расстояние между смежными нормальными трещинами. Вид поверхности арматуры учитывается коэффициентом  $\varphi_2$ , который для стержней периодического профиля равен 0,5.

В работе [4] поясняются основные моменты методик расчета, принятых в актуальной версии норм. По определению величины расстояния между трещинами принято ряд допущений. И для того, чтобы значения  $l_s$  не выходили за рамки реальных величин, а также для того, чтобы конечные результа-

ты по ширине раскрытия трещин имели достаточное согласование с предшествующими СНиП и международными нормами, введены ограничения. Результаты определения  $\ell_s$  принимают не менее  $10d_s$  и 10 см и не более  $40d_s$  и 40 см.

Целью настоящей работы является экспериментальная оценка параметра «расстояние между трещинами» при испытании железобетонной балки.

В лаборатории строительных конструкций ПГТУ проведено контрольное испытание железобетонной балки (перемычки). Балка имела фактические размеры сечения  $127 \times 140$  (h) мм, длину 2850 мм (расчетный пролет 2750 мм). Балка изготовлена из бетона класса В15 (фактическая прочность 21,6 МПа при коэффициенте вариации 16%). Армирование балки показано на рис. 1.

Балка (перемычка) запроектирована на равномерно распределенную нагрузку 400 кгс/м (расчетное значение). Нормативное значение распределенной нагрузки 365 кгс/м.

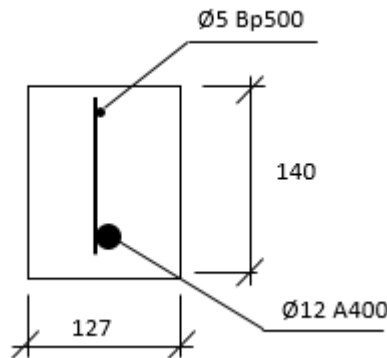


Рис.1 Армирование испытанной железобетонной балки

Железобетонная балка испытывалась как шарнирно опертая по концам балка, нагруженная двумя сосредоточенными силами, приложенными в четвертях пролета. Загружение перемычки проводилось через подвешенный поддон штучными стандартными гирями весом 20 кг ( $\pm 0,07$  кг). После каждого этапа нагружения производилась выдержка не менее 10 мин, при контрольной нагрузке по жесткости и трещиностойкости конструкция выдерживалась не менее 30 мин.

При испытании на 2-м этапе нагружения было зафиксировано появление нормальных трещин в середине пролета. На пятом этапе нагружения (контроль ширины раскрытия трещин при сосредоточенных силах  $2P_{доп} = 2 \times 439,2$  кгс) трещины располагались на участке между силами и за пределами точек приложения нагрузки. Раскрытие трещин не превышало 0,15 мм, высота трещин достигала 120 мм. В этот момент была зафиксирована картина расположения трещин и измерено расстояние между ними. Характер трещинообразования показан на фото (рис. 2).



Рис.2. Конструкция под контрольной нагрузкой по проверке жесткости и трещиностойкости (5-й этап). Нагрузка  $P_{\text{доп}} = 439$  кгс.

Измеренные расстояния между нормальными трещинами:

- с одной стороны конструкции: 120, 125, 90, 155, 80, 110, 80, 100, 135, 80, 115, 125, 105, 110, 85, 90, 75, 150, 115 (мм);

- с другой стороны конструкции: 110, 150, 80, 90, 110, 125, 75, 145, 85, 90, 65, 80, 80, 75, 125, 75, 140, 85, 105, 75, 100 (мм).

По полученным экспериментальным данным определено среднее значение фактического расстояния между трещинами, которое составило 103 мм. Размах параметра составил от 75 мм до 155 мм. По данным измерения построена гистограмма, представленная на рис. 3. Видно, что распределение данных отличается от ожидаемого нормального распределения.

Далее был выполнен расчет параметра  $l_s$  по методике СП 63.13330.2018 [3]. Характеристики балки: бетон тяжелый, класса В15, арматура продольная:

- нижняя  $\varnothing 12$  А400 ( $A_s = 113,1$  мм<sup>2</sup>);

- верхняя  $\varnothing 5$  Вр500 ( $A_s = 19,6$  мм<sup>2</sup>).

Значения базового расстояния между трещинами  $l_s$  определяют по формуле (п. 8.2.17 [3]):

$$l_s = 0,5 \cdot \frac{A_{bt}}{A_s} \cdot d_s$$

и принимают не менее  $10d_s$  и 10 см и не более  $40d_s$  и 40 см;

где  $A_{bt}$  – площадь сечения растянутого бетона;

$A_s$  – площадь сечения растянутой арматуры;

$d_s$  – номинальный диаметр арматуры.

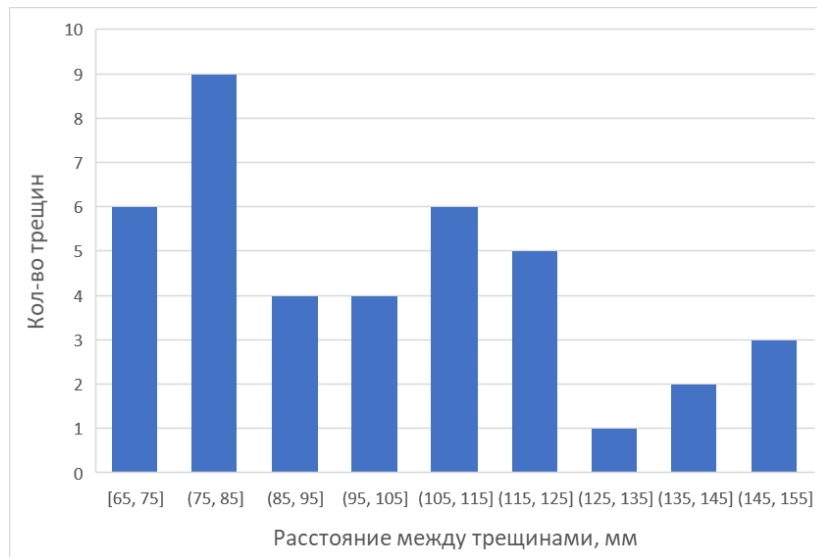


Рис.3 Гистограмма данных «расстояние между трещинами»

Значение  $A_{bt}$  определяют по высоте растянутой зоны бетона  $x_t$ , определяемое как  $(h - y_c)$ . Расстояние от верхней грани до центра тяжести для сечения, показанного на рис. 1, составило  $y_c = 72$  мм. Высота растянутой зоны  $x_t = 68$  мм, что более  $0,5h$ . Принимаем  $x_t = 60$  мм.

Площадь сечения растянутого бетона:

$$A_{bt} = b \cdot x_t = 12,7 \cdot 6,8 = 86,4 \text{ см}^2$$

Базовое расстояние между трещинами:

$$l_s = 0,5 \cdot \frac{86,4}{1,131} \cdot 1,2 = 45,81 \text{ см, что превышает } 40 \text{ см}$$

Для сравнения с экспериментальными данными следует учесть коэффициенты  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$ . Первый и третий равны 1. Коэффициент, учитывающий вид поверхности арматуры, равен 0,5. Следовательно, расчетное значение расстояния между нормальными трещинами составит 22,91 см (229,1 мм). Таким образом, расчетное значение параметра «расстояние между трещинами» более чем в два раза превышает среднее экспериментальное значение 103 мм и на 30% выше максимально зафиксированного расстояния 155 мм.

Исходя из единичного эксперимента, можно сделать следующие выводы: в действующих нормах проектирования СП 63.13330.2018 [3] теоретическое значение параметра «расстояние между трещинами» вычисляется с «запасом» в сторону увеличения. Следовательно, результат расчета ширины раскрытия трещин также будет завышен. В целом это повысит надежность проектирования, но может привести к удорожанию конструкции.

### Список литературы:

1. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции: общий курс [Текст]: учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. - М.: Стройиздат. - 1991. - 767 с.
2. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]: Введ. 1986.06.01.– М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. -79 с.
3. Свод правил: СП63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 [Текст]: Введ. 2019. 06.20. – М.: б/и, 2019.- 155 с.
4. Кодыш, Э.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям: монография [Текст] / Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. – М.: Издательство АСВ. - 151с.