

## ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ

Шеховцов И.В., к.т.н., доцент, Бондаренко А.В. к.т.н.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

В лаборатории кафедры железобетонных и каменных конструкций ОГАСА были проведены экспериментальные исследования и получены результаты о несущей способности балок при действии на них сосредоточенных сил. Конструкция железобетонных испытываемых балок приведена на рис. 1. Перед испытанием на боковые грани балок были установлены сдвигомеры, выполненные на базе тензометров Аистова, для определения деформаций сдвига в наклонной трещине в процессе нагружения. При изготовлении бетона для образцов варьировались процентное содержание наполнителя  $X1$  и количество цемента  $X2$ .

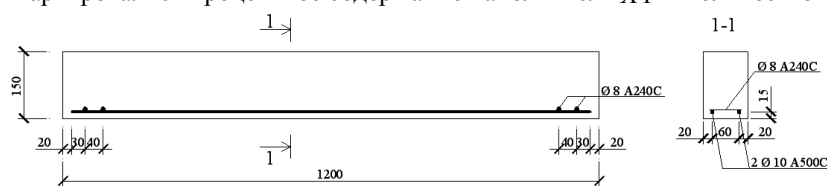


Рис. 1. Схема армирования железобетонных балок

В результате экспериментальных исследований были получены значения предельных деформаций сдвига  $\Delta_{crc,u}$  по берегам наклонной трещины, прогибов  $f$ , поперечной силы  $Q$ , воспринимаемой элементом, в зависимости от варьируемых факторов. Средние значения  $\Delta_{crc,u}$  и  $Q$  приведены в таблице 1.

На основании экспериментальных данных было установлено следующее. Предельные деформации сдвига  $\Delta_{crc,u}$  в балках возрастают по мере увеличения процентного содержания наполнителя с 5% до 15% при фиксированном количестве цемента (400 кг/м<sup>3</sup>, 325 кг/м<sup>3</sup>, 250 кг/м<sup>3</sup>) и при уменьшении количества цемента с 400 кг/м<sup>3</sup> до 250 кг/м<sup>3</sup> при фиксированном процентном содержании наполнителя (5%, 10%, 15%).

Таблица 1

Средние значения  $\Delta_{crc,u}$  и  $Q$

Маркировка балки	$X1$ , %	$X2$ , кг/м <sup>3</sup>	$Q^{сред}$ , кН	$\Delta_{crc,u}^{сред}$ , мм
1	3	4	6	8
Б 1	15	400	52	0,38
Б 2	10	400	54,75	0,31
Б 3	5	400	58	0,24
Б 4	15	250	40,75	0,5
Б 5	10	250	43,25	0,48
Б 6	5	250	46,25	0,4
Б 7	15	325	49,25	0,403
Б 8	10	325	51	0,4
Б 9	5	325	54	0,3

По результатам исследований была получена линейная зависимость по данным испытания опытных образцов на сдвиг для определения сил зацепления:

$$\Delta_{crc,u} = 0,82 Kn_R - 0,67. \quad (1)$$

где  $Kn_R$  - коэффициент поврежденности рельефной поверхности бетона в трещине.

Анализируя данные деформаций сдвига  $\Delta_{crc}$  в наклонной трещине, полученные при испытании балок, установлено, что они качественно и количественно согласуются с данными, полученными при испытании отдельных опытных образцов для определения сил зацепления [4]. Данные по значениям предельных деформаций сдвига  $\Delta_{crc,u}$  опытных образцов для определения сил зацепления представлены в таблице 2.

Проводя сопоставление экспериментальных данных по  $\Delta_{crc,u}$ , полученных при испытаниях опытных

образцов на сдвиг, с результатами испытаний железобетонных балок определено, что численные значения предельных деформаций сдвига  $\Delta_{crc,u}$  опытных образцов для определения сил зацепления близки к значениям предельных деформаций сдвига  $\Delta_{crc,u}$  по берегам наклонной трещины балок. При этом разница между значениями  $\Delta_{crc,u}$  по берегам наклонной трещины балок и образцов для определения сил зацепления не превышает 10 %. Было установлено, что при расчете прочности балок по наклонным сечениям на основе диско - связевой модели силы зацепления  $F_{crc}$ , в наклонной трещине изгибаемых элементов, можно определять по зависимости  $\Delta_{crc} - Kn_R$  (1), полученной при испытании образцов для определения сил зацепления.

Таблица 2

Значения предельных деформаций сдвига  $\Delta_{crc,u}$  опытных образцов

X1 %	X2 кг/м <sup>3</sup>	Маркировка	Предельные деформации сдвига опытных образцов, $\Delta_{crc,u}$ , мм
2	3	4	5
15	400	C-1	0,422
10	400	C-2	0,325
5	400	C-3	0,255
15	325	C-4	0,519
10	325	C-5	0,469
5	325	C-6	0,419
15	250	C-7	0,422
10	250	C-8	0,396
5	250	C-9	0,346

Расчет прочности железобетонных балок в зоне действия поперечных сил проводили на основе диско - связевой, физической модели работы элемента [1, 4]. Проверка прочности проводится из условия:

$$Q_{act} < Q_u, \quad (2)$$

где -  $Q_{act}$  - действующая поперечная сила; -  $Q_u$  - предельное поперечное усилие, воспринимаемое элементом:

$$Q_u = Q_b + Q_s + F_{crc} \cdot \sin \theta. \quad (3)$$

Силы зацепления  $F_{crc}$  в трещине определяются с учетом (1) по зависимости:

$$F_{crc} = \int_0^{l_{crc}} (0,82 \cdot Kn_R - 0,67) \cdot b \cdot G_{crc} \cdot dl. \quad (4)$$

В формуле (4)  $G_{crc} = 1300(1 - a_{crc} / a_{crc,u})$  - коэффициент постели сдвига, который зависит от ширины раскрытия трещины.

Таким образом силы зацепления будут вычисляться по:

$$\begin{aligned} F_{crc} &= \int_0^{l_{crc}} (0,82 Kn_R - 0,67) \cdot b \cdot 1300 \cdot [1 - l \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) / a_{crc,u}] \cdot dl = \\ &= 1300 \cdot (0,82 Kn_R - 0,67) \cdot b \cdot l_{crc} \cdot [1 - 0,5 \cdot l_{crc} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) / a_{crc,u}]. \end{aligned} \quad (5)$$

Результаты расчетов несущей способности балок  $Q_u$  в зоне действия поперечных сил, проведенные на основе диско - связевой модели работы по (3) с учетом сил зацепления  $F_{crc}$ , вычисленных по зависимости (5), и результаты расчетов, выполненные по СНиП 2.03.01-84\*, приведены в таблице 3. В этой таблице также приведены значения фактической несущей способности испытанных балок  $Q$  и коэффициент поврежденности рельефной поверхности бетона  $Kn_R$ . Соотношение экспериментальных значений с расчетными  $Q/Q_u$  при расчете несущей способности балок  $Q_u$  (для элементов без поперечной арматуры с пролетом среза  $2h_0$ ) по диско - связевой модели элемента находится в пределах 1-1,05, а при расчетах  $Q_u$  по СНиП 2.03.01-84\* - в пределах от 1,5 до 1,95.

На рис. 3 представлен график относительной несущей способности балок  $Q/Q_u$ .

### Выводы

Такая точность вычисления значений расчетной несущей способности  $Q_u$  достигается за счет использования расчетной модели элемента, которая позволяет вычислять внутренние усилия, действующие в наклонной трещине (усилие воспринимаемое бетоном  $Q_b$ , усилие воспринимаемое продольной растянутой арматурой  $Q_s$ , силы зацепления  $F_{crc}$ ), независимо друг от друга. Так же установлено, что силы зацепления  $F_{crc}$  (5) должны вычисляться в зависимости не только от ранее известных факторов, влияющих на их величину - ширины раскрытия трещины  $a_{crc}$ , касательных напряжений зацепления  $\tau_{crc}$ , деформаций сдвига  $\Delta_{crc}$ , но и от коэффициента поврежденности рельефной поверхности бетона в трещине  $K_{nR}$ , который в свою очередь связан с начальной технологической поврежденностью.

Таблица 3

Результаты расчетов несущей способности балок  $Q_u$   
в зоне действия поперечных сил с учетом сил  
зацепления  $F_{crc}$

X1, %	X2, кг/м <sup>3</sup>	Маркировка балок	СНиП 2.03.01-84*	диско – связевая модель (с учетом 5)	$K_{nR}$	$Q$ , кН
			$\frac{\varphi_{b4} R_{bt} b h_0^2}{c}$ , $Q_u$ , кН	$Q_u$ , кН		
2	3	4	5	6	7	8
15	400	Б-1	31,4	52	1,38	52
10	400	Б-2	33,4	53,4	1,21	54,75
5	400	Б-3	38,5	57,9	1,16	58
15	250	Б-4	20,3	40,5	1,42	40,75
10	250	Б-5	22,4	42,4	1,33	43,25
5	250	Б-6	24,7	45,7	1,28	46,25
15	325	Б-7	25,3	48,2	1,34	49,25
10	325	Б-8	27,3	49,4	1,28	51
5	325	Б-9	29,4	53,7	1,22	54

## SUMMARY

The results of experimental studies to determine the bearing capacity of reinforced concrete beams, and their comparison with the results of calculations of strength of beams made of disco-communicative models on how to SNiP 2.03.01-84 \*.

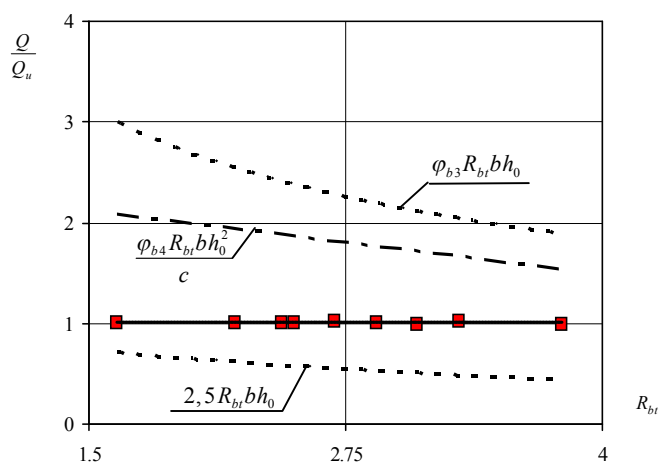


Рис. 3. Относительная несущая способность балок.  
- по СНиП 2.03.01-84\*;  
- по диско - связевой модели;  
- по эксперименту;

### *Литература*

1. Залесов А.С., Климов Ю.А. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. – К.: Будивельник, 1989. – 105с.
2. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций.- Одесса: ИМК Город мастеров, 1998.- 168 с.
3. Бондаренко А.В. К методике проведения исследований по определению сил зацепления при различном рельефе поверхности трещины // Вісник ОДАБА. №5, Одесса, 2001. С. 14-17.
4. Шеховцов И.В., Бондаренко А.В. Влияние начальной технологической поврежденности на силы зацепления при расчете балок на основе диско-связевой модели // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць, вип.14. Рівне, РДТУ, 2006. С.362-368.