

## ХАРАКТЕР ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Пушкарь Н. В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

В статье приводятся результаты исследований характера появления и развития нормальных и наклонных трещин в железобетонных изгибаемых элементах под нагрузкой, а также влияние на появление наклонных трещин степени насыщения образцов поперечной и продольной арматурой, технологической повреждённости бетона.

Известно, что характер трещинообразования и развития трещин в железобетонных изгибаемых элементах влияет на распределение деформаций, прогибы и несущую способность. Поэтому нами была поставлена задача изучить характер появления и развития нормальных и наклонных трещин в железобетонных балках под нагрузкой, а также исследовать влияние на появление наклонных трещин следующих факторов: степени насыщения образцов поперечной и продольной арматурой, технологической повреждённости бетона.

В лаборатории железобетонных и каменных конструкций были проведены испытания на изгиб трёх серий (А, Б, В) железобетонных балок, выполненных из тяжёлого бетона, армированных плоскими сварными каркасами. Схемы армирования опытных балок приведены в [1], также варьировался процент продольного армирования, для балок серий А, Б, В он составлял, соответственно, 1,16; 1,67; 0,75%. Характеристики опытных образцов серии А представлены в [1], серий Б, В – в табл. 1.

Повреждённость железобетонных балок технологическими дефектами определялась по методике, описанной в [1], в результате для каждой балки было получено по три коэффициента повреждённости: по нормальным сечениям ( $K_{норм}$ ), по наклонным – ( $K_{накл}$ ), и по площади участка  $15 \times 15$  см ( $K_{пл}$ ). Поскольку нами была поставлена задача изучения влияния повреждённости на появление наклонных трещин,

из трёх коэффициентов, для данных исследований, был принят во внимание коэффициент поврежденности именно по наклонным сечениям ( $K_{накл}$ ), его значения для опытных балок приведены в табл. 2.

Балки испытывались как однопролётные, свободно опёртые, нагруженные двумя сосредоточенными силами, приложенными в третях пролёта; нагружение производилось ступенями по  $0,1M_u$ . Внутренние усилия образования наклонных трещин и разрушения балок представлены в табл. 3.

### Характеристики опытных образцов

Таблица 1

Марка балки	Геометрические размеры балки			Характеристики арматуры			Характеристики бетона			
	$b, см$	$h, см$	$h_0, см$	$A_s, см^2$	$\sigma_s, МПа$	$E_s \times 10^{-5}, МПа$	$R_m, МПа$	$R_b, МПа$	$R_{bt}, МПа$	$E_b \times 10^5, МПа$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Б-Б2	10	15	13,4	1,27	387	2,06	35	26,7	2	2,38
Б-Б3	10,2	15,1	13,5	1,3	387	2,06	37,4	24,4	1,9	2,26
Б-Б4	10,1	15,1	13,6	1,3	387	2,06	37,4	24,4	1,9	2,26
Б-Б5	10,1	15	13,3	1,27	384	2,06	35	26,7	2	2,38
Б-Б6	10,1	15	13,4	1,27	384	2,06	35	26,7	2	2,38
В-Б2	10,2	15	13,3	0,5	260	1,96	35,7	24,1	1,9	2,13
В-Б3	10,2	15,1	13,3	0,48	256	1,94	36	24,5	1,9	2,25
В-Б4	10	15	13,5	0,5	260	1,96	35,7	24,1	1,9	2,13
В-Б5	10	15,1	13,4	0,48	256	1,94	36	25	1,9	2,29
В-Б6	10	15	13,4	0,5	260	1,96	35,7	24,1	1,9	2,13

### Коэффициенты технологической поврежденности железобетонных балок

Таблица 2

Марка балки	$K_{накл}$	Марка балки	$K_{накл}$	Марка балки	$K_{накл}$
А-Б2	0,95	Б-Б2	1,1	В-Б2	0,89
А-Б3	0,94	Б-Б3	1	В-Б3	0,89
А-Б4	1,14	Б-Б4	1,07	В-Б4	1,28
А-Б5	1,01	Б-Б5	1,01	В-Б5	0,83
А-Б6	1,1	Б-Б6	1,21	В-Б6	1,14

В балках всех серий, несмотря на различную степень насыщения поперечной и продольной арматурой, первые нормальные трещины появлялись в зоне чистого изгиба при нагрузках  $(0,2...0,3) M_u$ . На начальных этапах загрузения они все развивались по траекториям технологических трещин до высоты  $(0,15...0,22) h_0$ , при дальнейшем нагружении до  $(0,4...0,7) M_u$  – вертикально, уже пересекая технологические блоки.

### Внутренние усилия трещинообразования и разрушения железобетонных балок по наклонным сечениям

Таблица 3

Марка балки	$Q_{срс, экс}$ т	$Q_b, экс$ т	$M_{срс, экс}$ тхм	$M_u, экс$ тхм	$\frac{M_{срс, экс}}{M_u, экс}$
1	2	3	4	5	6
А-Б2	1,5	2,25	0,5	0,76	0,67
А-Б3	1,65	3	0,55	1	0,55
А-Б4	1,5	2,65	0,5	0,89	0,57
А-Б5	1,25	2,9	0,42	0,97	0,43
А-Б6	1,25	1,9	0,42	0,64	0,66
Б-Б2	1,75	2,75	0,58	0,92	0,64
Б-Б3	2,25	2,25	0,75	0,76	1
Б-Б4	1,75	2,25	0,58	0,76	0,78
Б-Б5	1,75	3	0,58	1	0,58
Б-Б6	1,75	3,1	0,58	1,04	0,56
В-Б2	0,75	2	0,25	0,67	0,38
В-Б3	1,2	2	0,4	0,67	0,6
В-Б4	1,05	1,54	0,35	0,52	0,68
В-Б6	1,05	1,63	0,35	0,55	0,64

В балках серии А наклонные трещины возникли при нагрузках  $(0,5...0,7) Q_u$  в средней части сечения балки, при дальнейшем нагружении наблюдалось их раскрытие и рост по направлению к грузу и опоре. При нагрузках  $1,0 Q_u$  происходило разрушение балок от раздробления бетона сжатой зоны над вершиной критической наклонной трещины, кроме балки А-Б2, которая разрушилась по сжатой зоне бетона и из-за проскальзывания арматуры в момент разрушения.

В балках серии Б после появления и развития нормальных трещин

в зоне чистого изгиба при нагрузках  $(0,4...0,7) Q_u$  возникают нормальные трещины в зоне совместного действия поперечной силы и изгибающего момента, которые при дальнейшем нагружении развиваются по направлению к грузам. При этой же нагрузке достигают максимальной высоты нормальные трещины, расположенные вблизи сечений передачи нагрузки –  $(0,5...0,6) h_0$ . При нагрузке  $(0,6...0,9) Q_u$  возникают наклонные трещины в средней части сечения балки, которые при дальнейшем нагружении развиваются к грузу и опоре. При нагрузках  $1,0Q_u$  балки разрушаются от раздробления бетона над вершиной наклонной трещины, кроме балки Б-Б2, которая разрушилась по сжатой зоне бетона и из-за проскальзывания арматуры в момент разрушения и Б-Б3, разрушившейся от «среза» бетона над вершиной трещины.

В балках серии В, после образования нормальных трещин в зоне чистого изгиба, при нагрузках  $(0,4...0,6) Q_u$  появляются нормальные трещины в “пролёте среза”, которые развиваются по направлению к грузам, по одной из таких трещин в дальнейшем происходит разрушение. При нагрузках  $(0,91...0,97) M_u$  наблюдается наибольшая высота нормальных трещин вблизи сечений передачи нагрузки –  $(0,67...0,93) h_0$ . Все балки серии В также разрушились по наклонному сечению от раздробления бетона над вершиной критической наклонной трещины, кроме балки В-Б5, которая разрушилась по нормальному сечению.

Произведён анализ величины относительной поперечной силы, соответствующей образованию критической наклонной трещины в зависимости от исследуемых факторов.

Величина относительной поперечной силы трещинообразования для балок серий А, Б, В изменяется от 0,3 до 0,901 (в 3 раза).

В балках серии А величина относительной поперечной силы трещинообразования изменяется от 0,5 до 0,627 (на 25%). С увеличением в балках количества поперечной арматуры происходит снижение величины поперечной силы, в среднем, с 0,578 до 0,483 (на 16,4%) при наибольшем отклонении от графика – 7,8% (рис. 1).

В балках серии Б значения поперечной силы трещинообразования составили 0,665...0,901 (изменение на 35,5%). При армировании балок по схемам №2, 3 наблюдается увеличение значений поперечной силы с 0,733 до 0,776 (на 5,5%), по схемам №4, 5, 6 – их уменьшение до 0,638 (на 17,8%), максимальное отклонение от графика составило 16% (рис. 1).

В балках серии В величина относительной поперечной силы, со-

ответствующая моменту образования трещин, изменяется от 0,3 до 0,48 (на 60%). При армировании балок по схемам №2, 3, 4 её значения увеличиваются с 0,302 до 0,474 (на 36,2%), по схеме №6 — уменьшаются до 0,422 (на 11%), наибольшее отклонение от графика — 14% (рис. 1).

При увеличении в балках количества продольной арматуры с 0,75 до 1,67% средние значения относительной поперечной силы, соответствующей моменту появления наклонной трещины, увеличиваются от 0,409 до 0,701 (на 71%) при максимальном отклонении от графика — 29% (рис. 2).

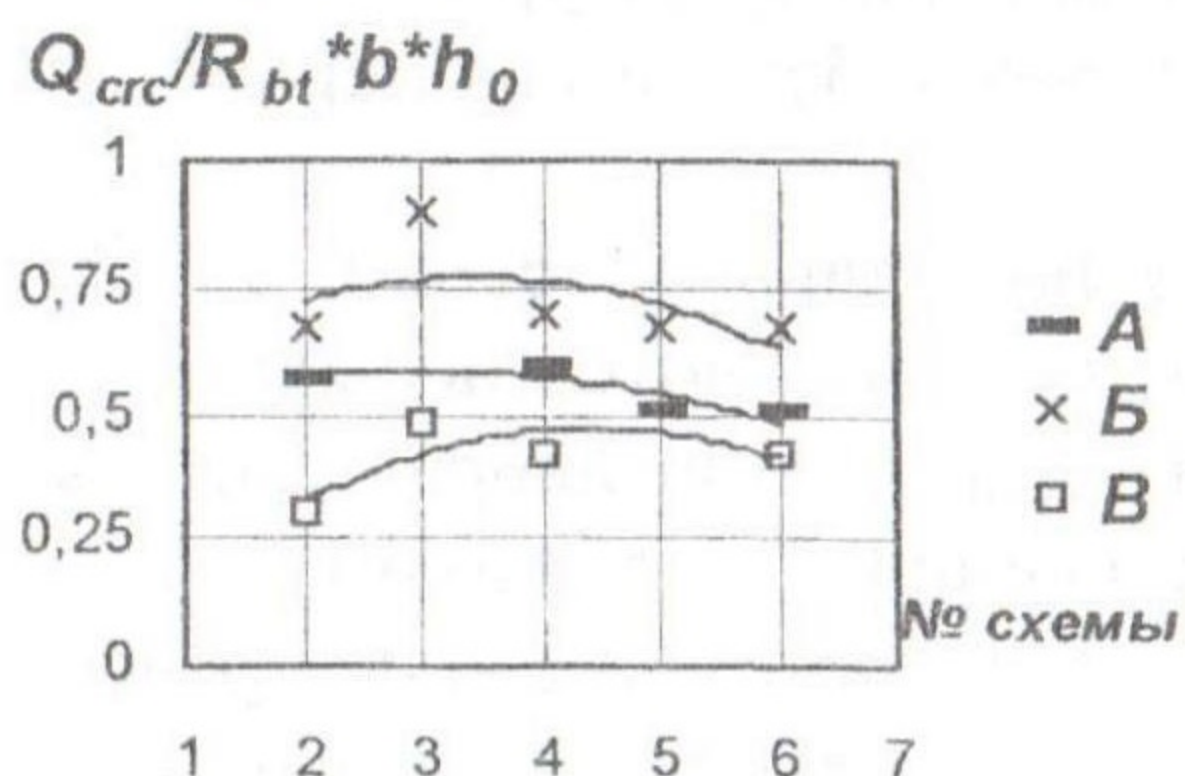


Рис. 1. Влияние степени насыщения балок поперечной арматурой на величину относительной поперечной силы трещинообразования.

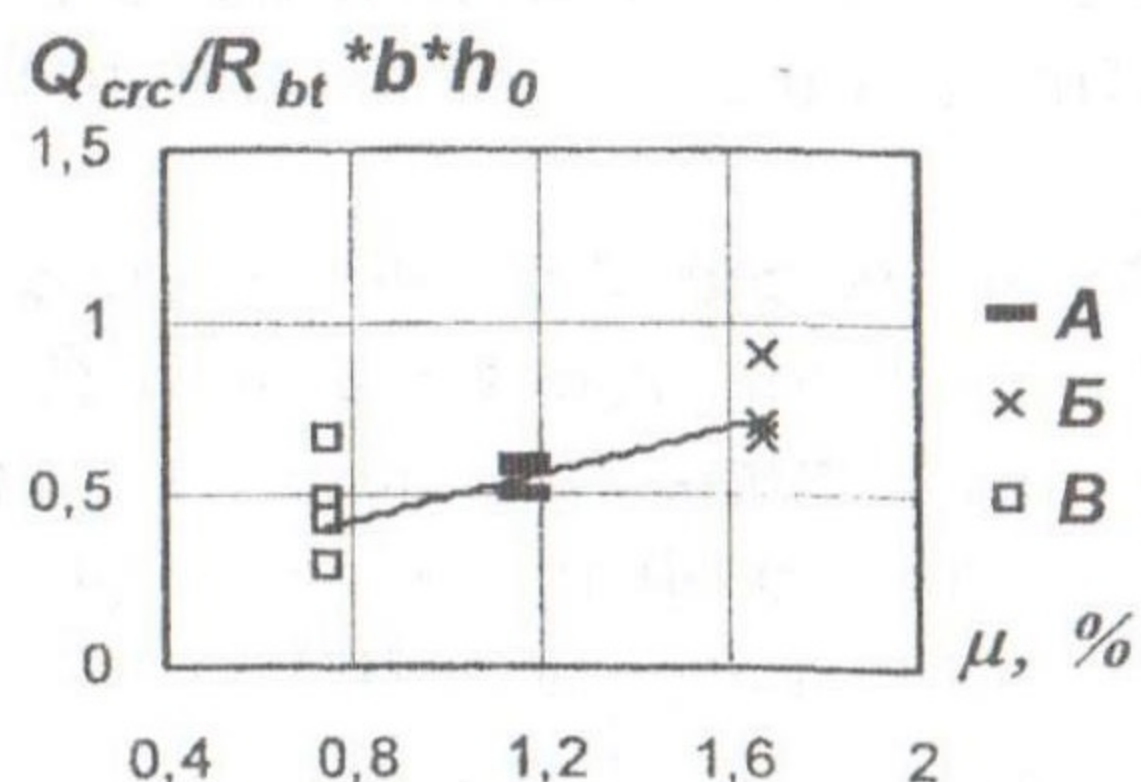


Рис. 2. Влияние степени насыщения балок продольной арматурой на величину относительной поперечной силы трещинообразования.

При росте коэффициента поврежденности  $K_{накл}$  от 0,89 до 1,1 (1/2 участка изменения коэффициента поврежденности) рассматриваемая характеристика увеличивается от 0,444 до 0,637 (на 30,3%), на оставшемся участке значений коэффициента  $K_{накл}$  она уменьшается до 0,407 (на 36,1%, рис. 3).

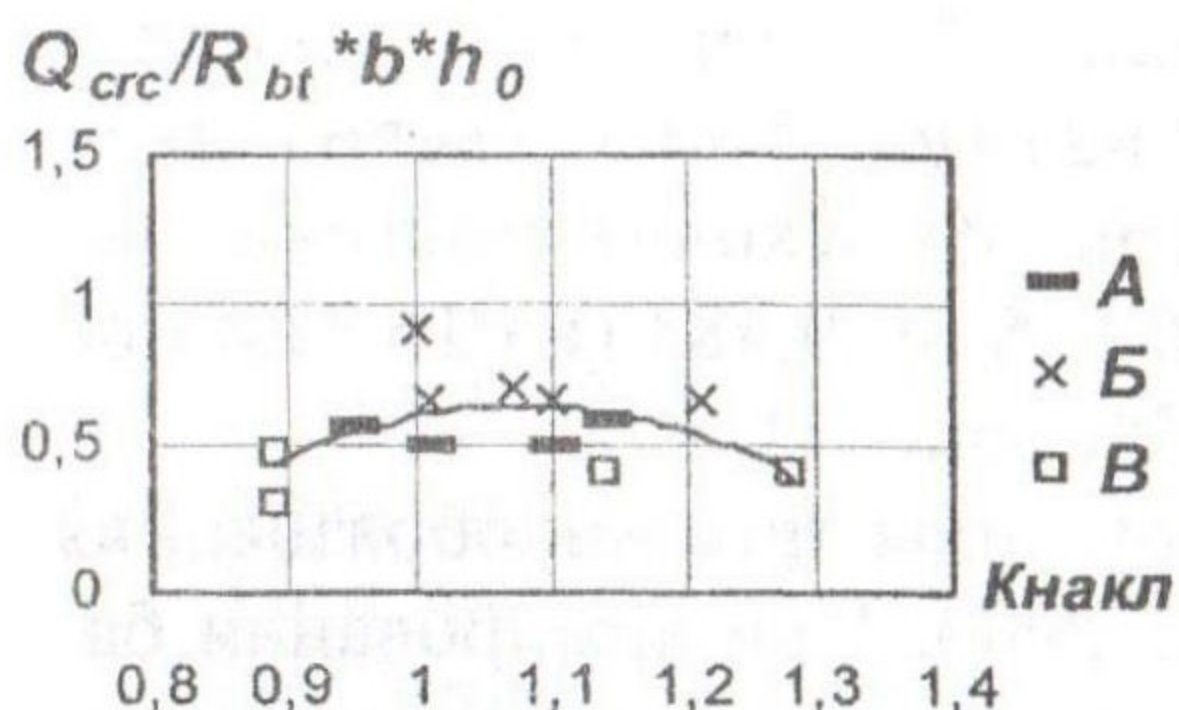


Рис. 3. Влияние технологической поврежденности на величину относительной поперечной силы трещинообразования.

характеристика увеличивается от 0,444 до 0,637 (на 30,3%), на оставшемся участке значений коэффициента  $K_{накл}$  она уменьшается до 0,407 (на 36,1%, рис. 3).

Из графика следует, что увеличение и уменьшение средней величины поперечной силы образования наклонных трещин происходит, в основном, под влиянием балок, соответственно, серий Б и В (максимальный и

минимальный процент армирования).

#### Выводы:

1. Конструктивные факторы влияют на величину относительной поперечной силы трещинообразования. При увеличении в балках количества поперечной арматуры её значения изменяются для балок серии А в пределах 16%, серии Б – 23%, серии В – в пределах 36%. С увеличением в балках количества продольной арматуры от 0,75 до 1,67% величина относительной поперечной силы трещинообразования увеличивается на 71%.

2. При изменении технологической повреждённости (при  $K_{накл} = 0,89...1,1$ ) вначале наблюдается рост величины  $Q_{crc}/R_{bt} * b * h_0$  от 0,44 до 0,64, далее (при  $K_{накл} = 1,1...1,28$ ) – её уменьшение до 0,41.

#### Литература

1. Дорофеев В. С., Левченко Н. В., Пушкарь Н. В. Несущая способность технологически повреждённых железобетонных балок. Вісник ОДАБА. Одеса, ВМК «Місто майстрів», 2000 р., – 184 с.