

ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ ТАВРОВИХ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК

Дорофєєв В.С.

Карпюк В.М.

Карп'юк Ф.Р.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Найвні численні експериментальні дані про характер тріщиноутворення і міцність похилих перетинів, як правило, звичайних балок, що згинаються і елементарно завантажених, мають значну розбіжність з причини відсутності чітких планів експериментів, відмінностей у розмірах і міцності матеріалів, що використовуються, відсутності оцінки спільного впливу дослідних факторів і т.п. З вказаної причини на думку авторів [1] нові розробки у цій області ще не досягли такого рівня, щоби бути прийнятими як нормативні методи.

У зв'язку із викладеним в Одеській державній академії будівництва та архітектури проведено системні експериментально-теоретичні дослідження напружено-деформованого стану приопорних ділянок залізобетонних елементів, що згинаються. Характеристика дослідних факторів і рівнів їхнього змінювання приведено у [2].

Дослідні зразки мали вигляд однопрогінних таврових залізобетонних балок. Полиці балок армували сіткою, ребро – двома плоскими каркасами і повздожньою попередньо-напруженою робочою арматурою згідно плану експерименту. У якості повздожньої робочої попередньо напруженої використовували арматурну сталь Ø22 А 500С, поперечної в прогонах зрізу – ВрІ, на других ділянках – А 240С. Попереднє напруження в арматури створювали на металеву форму-опалубку, у якій дослідні зразки-балки витримували до набору бетоном необхідної міцності. Контроль попереднього напруження здійснювали за допомогою ланцюжків наклеєних тензормзисторів.

Статичне навантаження дослідних балок у віці 180..200діб здійснювали ступенями за допомогою двох симетрично розташованих зосереджених сил.

Появу тріщин фіксували за допомогою лупи і мікроскопа. Ширину розкриття тріщин вимірювали мікроскопом з точністю 0,05 мм.

Після обробки результатів експериментів за методикою [3] отримали відповідні математичні моделі. Про кількісний і якісний вплив основних факторів, як окремо, так і у взаємодії один з одним на навантаження, відповідне появі перших нормальних і похилих тріщин, а також про ширину розкриття тріщин можна судити за адекватними математичними моделями (1)...(6), що мають достатнє інформаційне забезпечення.

$$\begin{aligned} \widehat{Y}(M_{crc,\perp}) = & 725,5 + 59,9X_2 + 20,2X_3 + 510,6X_5 + 31,5X_1^2 - \\ & - 31,5X_3^2 + 17,5X_2X_3, kHcH \end{aligned} \quad (1)$$

$$\Sigma(\widehat{Y} - Y)^2 = 55077,58; \sigma = \sqrt{\frac{(\widehat{Y} - Y)^2}{n-1}} = 46,02574; \nu = \frac{\sigma}{b_0} \times 100\% = 6,11\%$$

$$\widehat{Y}(F_{crc,\perp}) = 21,5 - 14,4X_1 + 2,2X_2 + 0,8X_3 + 18,9X_5 + 8,1X_1^2 - 0,9X_3^2 - 9,7X_1X_5 - 0,5X_1X_3 + 0,5X_2X_3 - 1,1X_1X_2, \quad kH$$

$$\Sigma = 43,6100; \quad \sigma = 1,29511; \quad \nu = 6,02\%$$

$$\widehat{Y}(M_{crc,/}) = 1540,8 + 758,5X_1 + 34,8X_4 + 54,0X_5 - 9,1X_5^2 + 12,5X_1X_2 + 22,1X_1X_4 + 37,6X_1X_5 + 32,4X_2X_3 + 77,6X_2X_4 + 42,2X_3X_5 + 59,9X_4X_5, \quad kHm$$

$$\Sigma = 204560; \quad \sigma = 88,7342; \quad \nu = 5,7\%$$

$$\widehat{Y}(F_{crc,/}) = 43,9 + 0,9X_4 + 1,4X_5 + 1,6X_4X_5 + 2,1X_2X_4, \quad kH$$

$$\Sigma = 150,47; \quad \sigma = 2,405; \quad \nu = 5,48\%$$

$$\widehat{Y}(a_{crc,\perp}) = 0,156 + 0,014X_1 + 0,007X_4 + 0,022X_1^2 - 0,016X_3^2 - 0,06X_1X_2 - 0,009X_1X_3 + 0,013X_1X_4 + 0,013X_1X_5 - 0,006X_2X_5 - 0,016X_3X_5, \quad mm$$

$$\Sigma = 0,002833; \quad \sigma = 0,010438; \quad \nu = 6,69\%$$

$$\widehat{Y}(a_{crc,/}) = 0,738 + 0,09X_1 - 0,076X_2 - 0,009X_3 - 0,02X_4 - 0,036X_5 - 0,044X_3^2 + 0,069X_4^2 - 0,072X_1X_2 - 0,032X_1X_3 - 0,067X_1X_5 + 0,058X_2X_4 + 0,026X_2X_5 + 0,021X_3X_4, \quad mm$$

$$\Sigma = 0,06509; \quad \sigma = 0,0500; \quad \nu = 6,75\%$$

Наведені моделі справедливі при такому співвідношенні дослідних факторів:

- відносний прогін зрізу, $c/h_0 = 0,8 \dots 3,44$ (фактор X_1);
- відношення ширини звісу полицок до товщини ребра, $b_f/b = 1,5 \dots 4,5$ (X_2);
- відношення товщини звісу полицок до робочої висоти, $h_f/h_0 = 0,14 \dots 0,4$ (X_3);
- кількість поперечної арматури, $\mu_{sw} = 0,0015 \dots 0,0061$ (X_4);
- рівень попереднього напруження в робочій арматурі, $P/R_b b h_0 = 0,0 \dots 0,600$ (X_5).

Геометрична інтерпретація впливу дослідних факторів на вказані вихідні параметри представлена на рис. 1-4.

Порівняння результатів розрахунків тріщиноутворення у балках виконано в табличній формі (табл. 1-3).

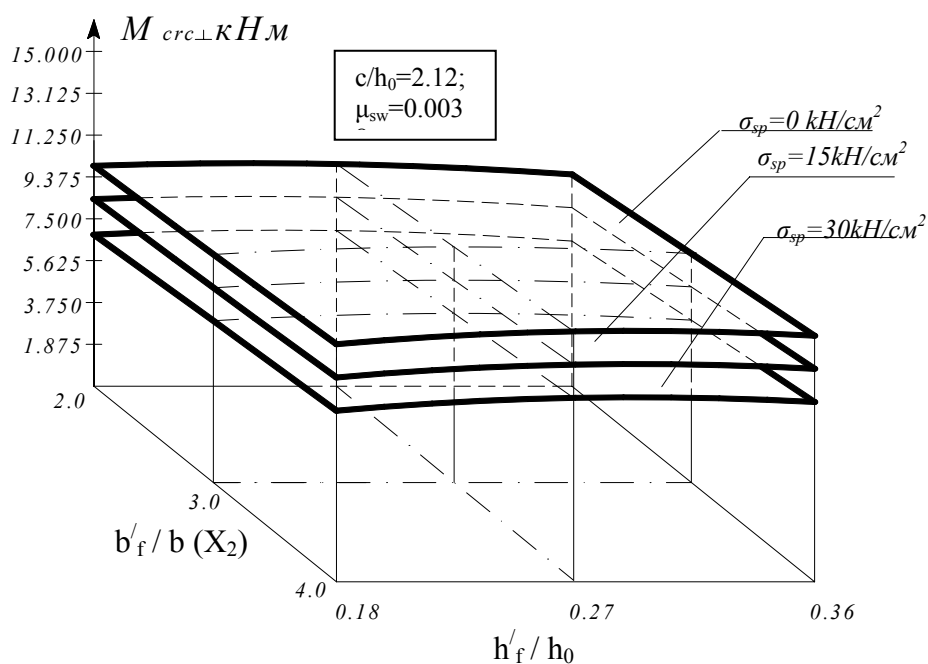
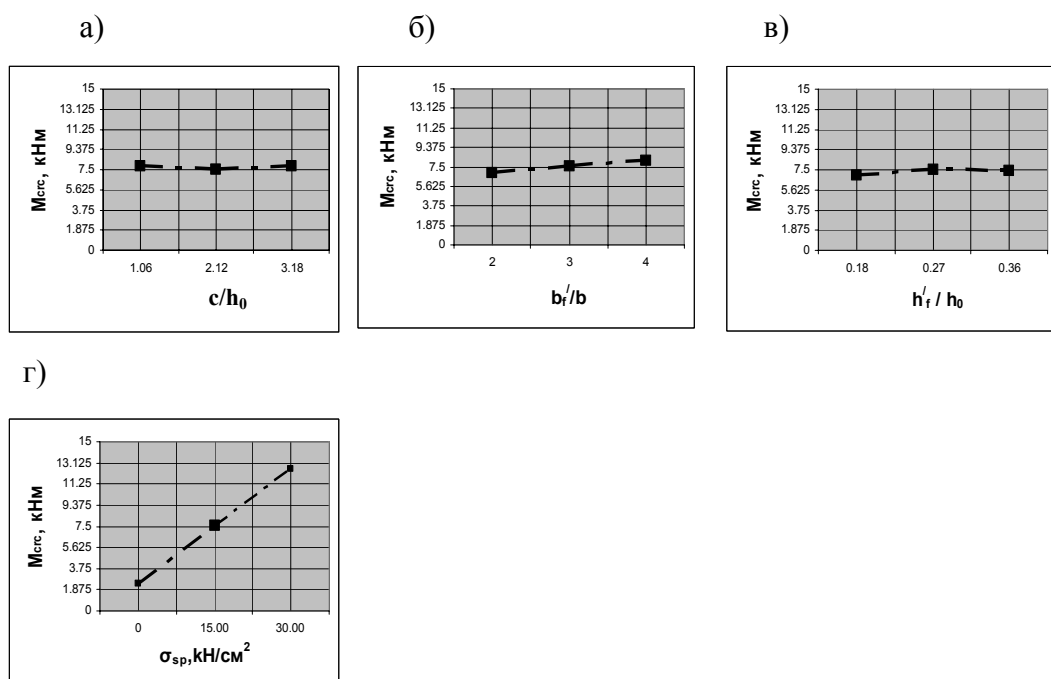


Рис. 1. Вплив відносного прогону зрізу (а), відношення ширини звісу полицок до товщини ребра (б), відношення товщини звісу полицок до робочої висоти (в), рівня попереднього напруження у робочій арматурі (г), а також спільний вплив дослідних факторів на величину моменту утворення нормальних тріщин

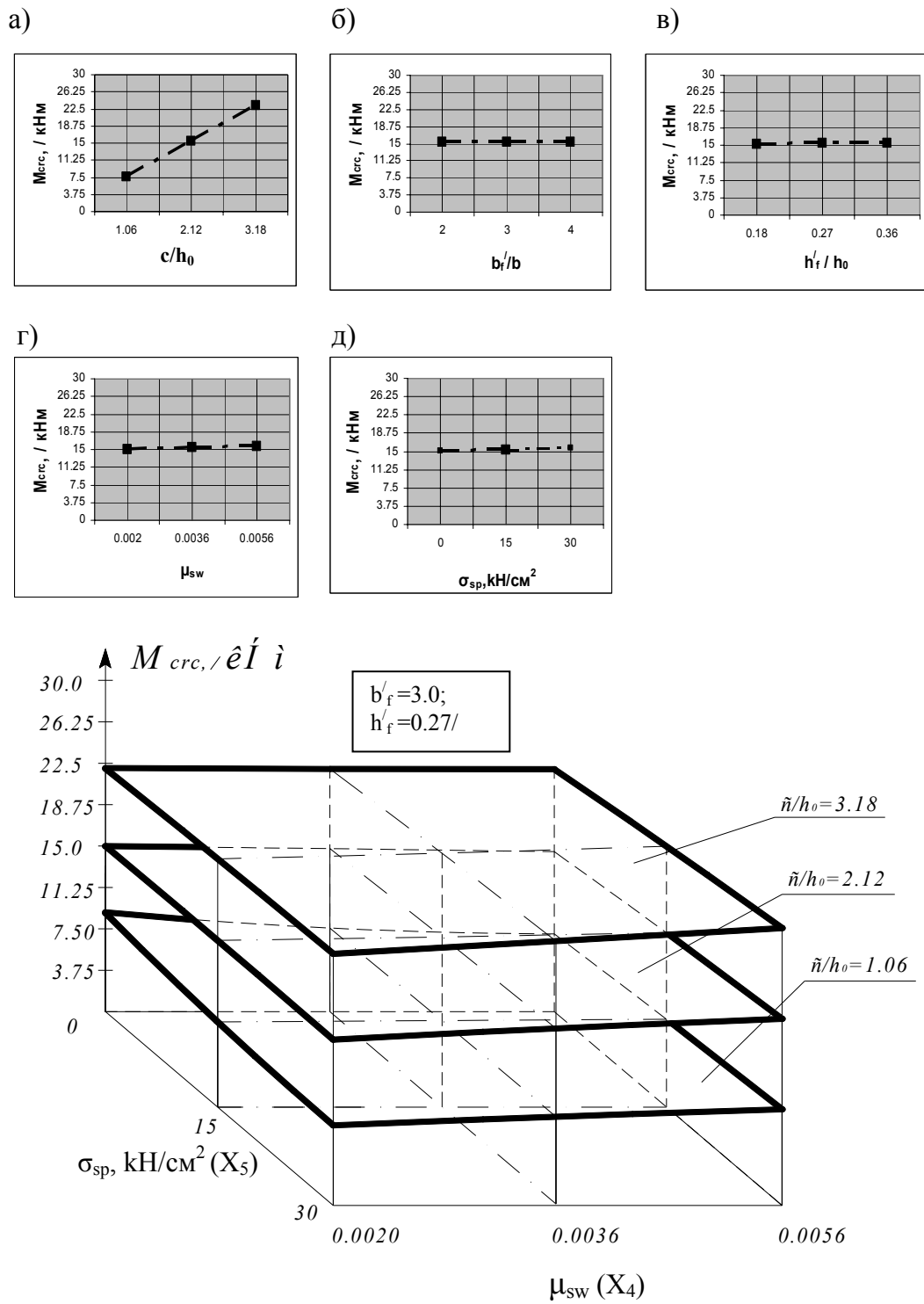


Рис. 2. Вплив відносного прогону зрізу (а), відношення ширини зв'язу полицок до товщини ребра (б), відношення товщини зв'язу полицок до робочої висоти (в), кількості поперечної арматури (г), рівня попереднього напруження в робочій арматурі (д), а також спільний вплив дослідних факторів на величину моменту утворення похилих тріщин

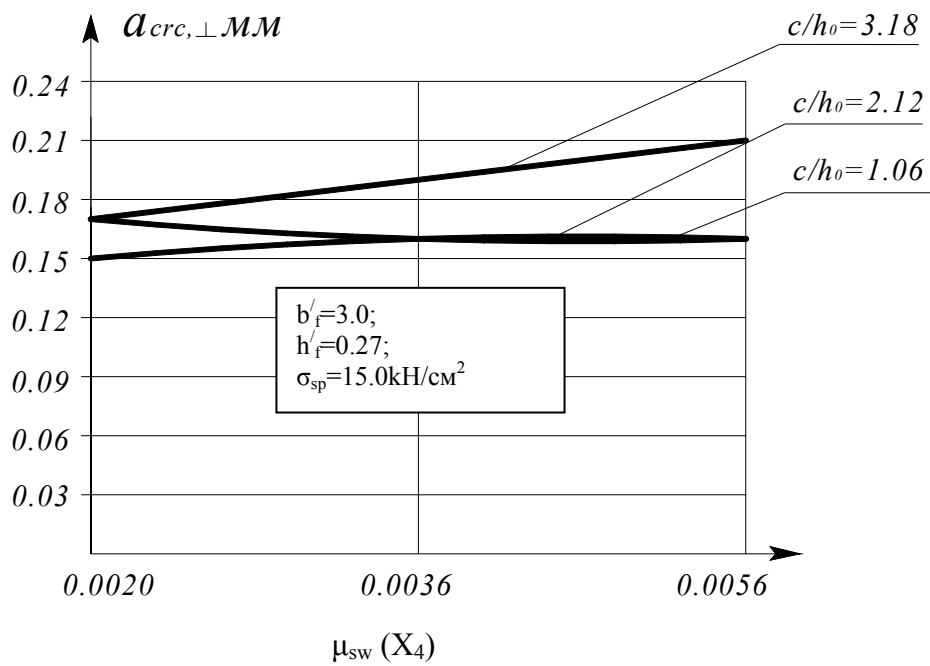
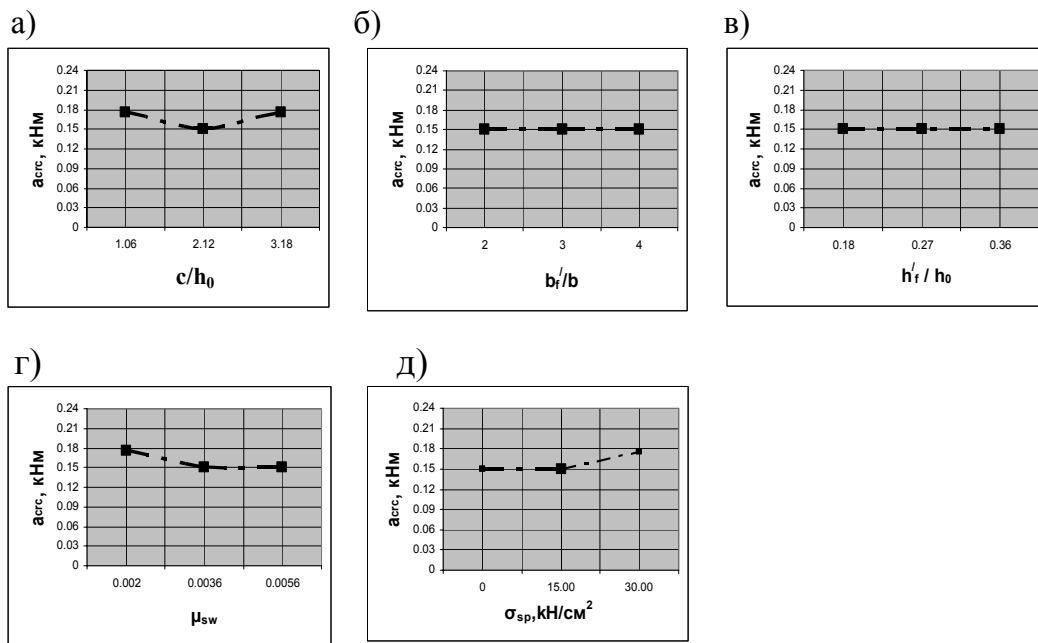


Рис. 3. Вплив відносного прогону зрізу (а), відношення ширини зв'язу полицок до товщини ребра (б), відношення товщини зв'язу полицок до робочої висоти (в), кількості поперечної арматури (г), рівня попереднього напруження в робочій арматурі (д), а також спільний вплив дослідних факторів на величину розкриття похилих тріщин.

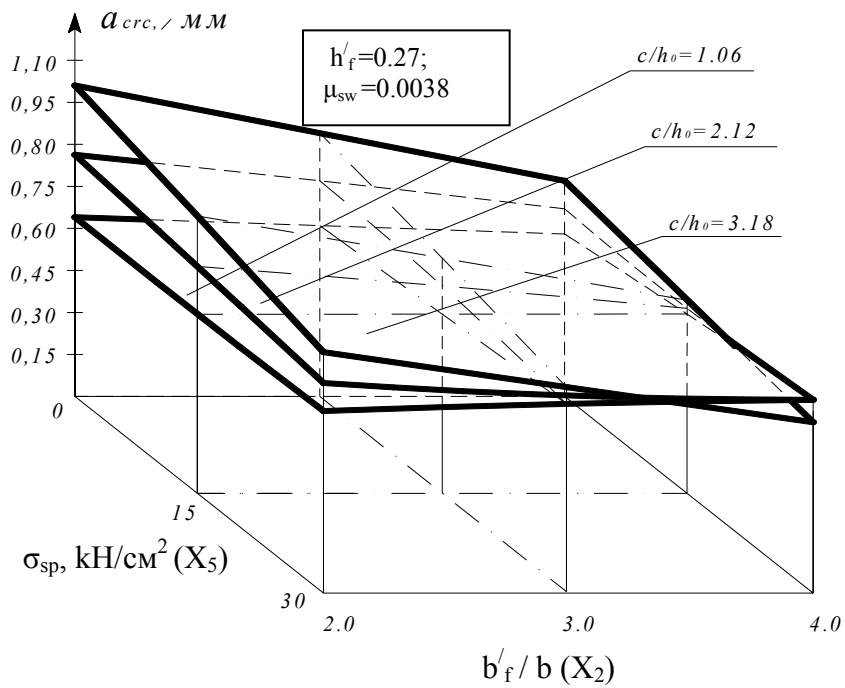
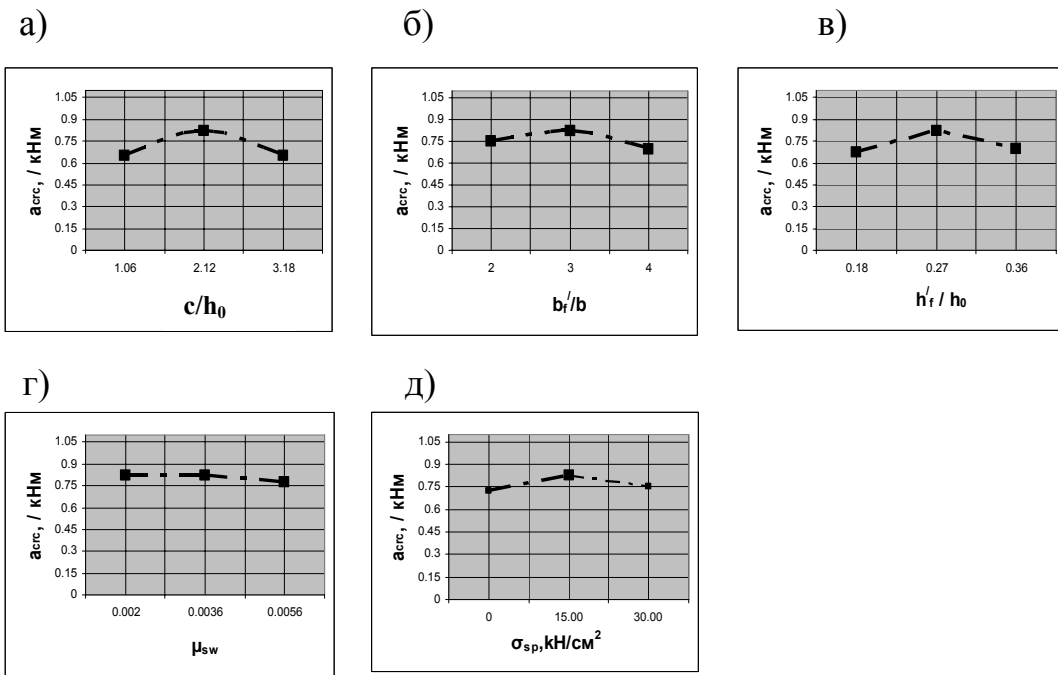


Рис. 4. Вплив відносного прогону зрізу (а), відношення ширини звісу полицок до товщини ребра (б), відношення товщини звісу полицок до робочої висоти (в), кількості поперечної арматури (г), рівня попереднього напруження в робочій арматурі (д), а також спільний вплив дослідних факторів на величину розкриття похилих тріщин

Таблиця 1 – Порівняння результатів розрахунків появи перших нормальних тріщин з дослідними даними

№ дослідю	Форма руйнування	Дані за математичною моделлю		СНиП 2.03.01-84*	СП 52-101-2003	Деформаційна модель НДІБК (Київ)
		$\hat{F}_{crc} \perp$ кН	$\hat{M}_{crc} \perp, \text{відн.}$ кНм			
1.	⊥, ⊥, ∠	25,30	13,60	5,26	4,37	13,63
2.	∠, ∠	69,20	12,06	4,86	4,04	12,11
3.	∠, ∠	15,98	2,64	4,28	4,11	2,56
4.	∠, ∠	4,37	1,79	4,11	3,96	1,88
5.	∠, ∠	73,20	12,85	5,03	4,11	12,98
6.	⊥, ⊥, ∠	22,75	12,00	4,78	3,95	12,11
7.	∠, ∠	6,92	3,39	4,54	4,37	3,29
8.	∠, ∠	11,94	1,85	4,20	4,04	1,98
9.	∠, ∠	19,63	3,39	4,54	4,37	3,29
10.	∠, ∠	3,78	1,84	4,20	4,04	1,98
11.	∠, ∠	23,79	12,85	5,03	4,11	12,98
12.	∠, ∠	67,61	12,00	4,77	3,96	11,73
13.	∠, ∠	76,86	13,61	5,26	4,37	13,63
14.	∠, ∠	22,15	12,06	4,86	4,04	11,73
15.	∠, ∠	5,41	2,64	4,29	4,11	2,56
16.	∠, ∠	10,38	1,79	4,12	3,96	1,88
17.	∠, ∠	15,24	7,84	4,66	4,11	7,89
18.	∠, ∠	44,03	7,84	4,66	4,11	7,89
19.	∠, ∠	23,72	8,12	4,79	4,24	7,89
20.	∠, ∠	19,34	6,92	4,49	3,99	6,91
21.	∠, ∠	21,35	7,41	4,72	4,20	7,53
22.	∠, ∠	19,82	7,0	4,55	4,03	7,17
23.	∠, ∠	21,52	7,52	4,64	4,11	7,41
24.	∠, ∠	21,52	7,52	4,64	4,11	7,41
25.	∠, ∠	40,42	12,63	5,00	4,11	12,80
26.	∠, ∠	6,80	2,41	4,28	4,11	2,38
27.	∠, ∠	21,52	7,52	4,64	4,11	7,41
				V=65,97 %	V=73,19%	V=1,82%

Таблиця 2 – Порівняння результатів розрахунків появи перших похилих тріщин з дослідними даними

№ досліду	Форма руйнування	Дані за математичною моделлю		СНиП 2.03.01-84*		СП 52-101-2003		Деформаційна модель НДІБК (Київ)	
		$\bar{F}_{crc} \angle$ кН	$\bar{M}_{crc} \angle, \text{відн.}$ кНм	$F_{crc} \angle, \text{відн.}$ кН	$M_{crc} \angle$ кНм	$F_{crc} \angle, \text{відн.}$ кН	$M_{crc} \angle$ кНм	$F_{crc} \angle, \text{відн.}$ кН	$M_{crc} \angle$ кНм
1.	⊥, ⊥, ∠	50,03	26,56	10,62	5,58	8,32	4,37	39,0	20,48
2.	∠, ∠	46,28	8,07	14,60	7,66	7,70	4,04	51,0	8,93
3.	∠, ∠	42,01	7,34	14,03	7,37	7,83	4,11	43,0	7,53
4.	∠, ∠	43,89	23,05	11,84	6,22	7,54	3,96	49,0	25,73
5.	∠, ∠	48,98	8,53	14,83	7,79	7,83	4,11	52,0	9,10
6.	⊥, ⊥, ∠	45,86	24,05	12,22	6,42	7,52	3,95	45,0	23,63
7.	∠, ∠	41,17	21,63	10,32	5,42	8,32	4,37	36,0	18,90
8.	∠, ∠	46,21	8,09	15,0	7,87	7,70	4,04	45,0	7,88
9.	∠, ∠	44,87	7,85	15,22	7,99	8,32	4,37	32,0	5,60
10.	∠, ∠	38,27	20,04	12,3	6,46	7,70	4,04	45,0	23,63
11.	∠, ∠	40,28	21,09	9,93	5,21	7,83	4,11	39,0	20,48
12.	∠, ∠	44,99	7,88	14,94	7,85	7,54	3,96	52,0	9,10
13.	∠, ∠	40,78	7,11	14,72	7,73	8,32	4,37	30,0	5,25
14.	∠, ∠	44,98	23,57	12,2	6,40	7,70	4,04	48,0	25,20
15.	∠, ∠	44,37	23,23	10,3	5,27	7,83	4,11	45,0	23,63
16.	∠, ∠	39,79	6,99	14,24	7,48	7,54	3,96	45,0	7,88
17.	∠, ∠	43,61	22,99	8,13	4,27	7,83	4,11	49,0	25,73
18.	∠, ∠	44,24	7,82	8,03	4,22	7,83	4,11	41,0	7,18
19.	∠, ∠	44,06	15,51	11,28	5,92	8,08	4,24	45,0	15,75
20.	∠, ∠	43,78	15,30	14,2	7,46	7,60	3,99	40,0	14,00
21.	∠, ∠	44,07	15,45	8,40	4,41	8,0	4,20	45,0	15,75
22.	∠, ∠	43,77	15,36	8,08	4,24	7,68	4,03	36,0	12,60
23.	∠, ∠	44,81	15,76	8,23	4,32	7,83	4,11	45,0	15,75
24.	∠, ∠	43,04	15,06	8,23	4,32	7,83	4,11	42,0	14,70
25.	∠, ∠	45,27	15,85	8,13	4,27	7,83	4,11	54,0	18,90
26.	∠, ∠	42,57	14,78	8,23	4,32	7,83	4,11	54,0	18,9
27.	∠, ∠	43,92	15,41	8,23	4,32	7,83	4,11	40,0	14,00
				V=74%		V=82,7		V=18,9%	

Таблиця 3 – Порівняння розрахункових та експериментальних значень ширини розкриття нормальних і похилих тріщин в дослідних балках

№ досліду	Дані за математичною моделлю		СНиП 2.03.01-84*		СП 52-101-2003	
	$\bar{a}_{crс,\perp}$ мм	$\bar{a}_{crс,\angle}$ мм	$a_{crс,\perp}$ мм	$a_{crс,\angle}$ мм	$a_{crс,\perp}$ мм	$a_{crс,\angle}$ мм
1.	0,17	0,65	0,19	0,64	0,25	-
2.	0,12	0,64	0,11	0,64	0,14	-
3.	0,15	0,56	0,19	0,41	0,26	-
4.	0,14	1,23	0,19	0,41	0,26	-
5.	0,14	0,71	0,11	0,64	0,15	-
6.	0,25	0,82	0,10	0,64	0,11	-
7.	0,15	0,69	0,19	0,41	0,26	-
8.	0,18	0,74	0,19	0,41	0,26	-
9.	0,19	0,68	0,19	0,64	0,26	-
10.	0,19	1,04	0,19	0,64	0,26	-
11.	0,18	0,66	0,11	0,41	0,15	-
12.	0,15	0,75	0,10	0,41	0,11	-
13.	0,16	0,68	0,19	0,41	0,25	-
14.	0,16	0,9	0,11	0,41	0,14	-
15.	0,18	0,85	0,19	0,64	0,26	-
16.	0,12	0,54	0,19	0,64	0,26	-
17.	0,19	0,84	0,15	0,54	0,20	-
18.	0,16	0,64	0,15	0,54	0,23	-
19.	0,16	0,66	0,17	0,54	0,23	-
20.	0,16	0,81	0,15	0,54	0,20	-
21.	0,14	0,69	0,18	0,54	0,23	-
22.	0,14	0,70	0,14	0,54	0,19	-
23.	0,16	0,79	0,15	0,54	0,20	-
24.	0,15	0,83	0,15	0,54	0,20	-
25.	0,17	0,70	0,12	0,54	0,16	-
26.	0,17	0,77	0,19	0,54	0,26	-
27.	0,17	0,74	0,15	0,54	0,20	-
			V=26,41%	V=38,65%	V=38,43%	

Висновки

1. Обробка отриманих даних дала можливість встановити чіткі і однозначні залежності вказаних параметрів від дослідних факторів, що, зрештою, дозволить упорядкувати і уточнити існуючі (4-8) уявлення про напружено-деформований стан приопорних ділянок попередньо напружених залізобетонних елементів, що згинаються, більш повно розкрити фізичну картину роботи і запропонувати більш довершені розрахункові моделі їхнього опору зовнішньому навантаженню.
2. Порівняння результатів розрахунків за нормативними методиками з дослідними даними показало незадовільну їхню збіжність і доцільність використання деформаційного методу НДБК (О.Б. Голишев, А.М. Бамбура), а також вдосконаленої авторами статті деформаційної моделі.
3. Подальше вдосконалення теорії розрахунку приопорних ділянок залізобетонних конструкцій, що згинаються, необхідно проводити, з одного боку, на основі деформаційного методу, що дозволяє з єдиних позицій проводити розрахунок їхньої міцності, жорсткості та тріщиностійкості. з іншого боку, для вирішення поставленого завдання слід використовувати методи теорії пластичності механіки залізобетону, засновані на сучасних чисельних методах.

Література

1. Звездов А.И., Залесов А.С., Мухамедиев Т.А., Чистяков Е.А. О новых нормах проектирования железобетонных и бетонных конструкций // Бетон и железобетон. – 2002. – № 2. – С. 2-6; № 3. – С. 10-13; № 4. – С. 16-18.
2. Дорофеев В.С., Карпюк В.М., Аветисян А.Г., Крантовская Е.Н., Карпюк Ф.Р., Шепетюк Н.И., Ярошевич Н.Н. О необходимости и постановке системных исследований прочности, трещиностойкости и деформативности приопорных участков железобетонных элементов, испытывающих сложные деформации, с целью уточнения и развития методов их расчета. // Будівельні конструкції / Зб. наук. праць, вип. 62. – Київ.: НДБК, 2005. – С. 160-167.
3. Вознесенский В.А. Статические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – 2-е изд., испр. и доп. – М: Финансы и статистика, 1981, 215 с.
4. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М. : Стройиздат, – 1996. – 416 с.
5. Клованич С.Ф. Механика железобетона в расчетах конструкций. // Будівельні конструкції // Зб. наук. праць, вип. 52 – Київ.: НДБК, 2000. – С. 107-115.
6. Голишев О.Б. Курс лекцій з основ розрахунку будівельних конструкцій і з опору залізобетону / О.Б. Голишев, А.М. Бамбура. – Київ.: Логос, 2004. – 340 с.
7. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 79 с.
8. СП 52-101-2004. Бетонные и железобетонные конструкции. Предварительно напряженные железобетонные конструкции. Госстрой России.- ГУП “НИИЖБ”, 2004. – 55 с.