

## ТРИЩИНОУТВОРЕННЯ ТА ШИРИНА РОЗКРИТТЯ ТРИЩИН У НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛКАХ

Наведено експериментальні значення навантаження та внутрішніх зусиль, що відповідають появі нормальних тріщин над середньою опорою і похилих тріщин у прогоні зрізу, а також їхньої ширини розкриття. Зроблений аналіз впливу діючих факторів на вихідні параметри за відповідними математичними моделями з їхнім графічним відображенням. Виконано порівняння результатів розрахунків утворення нормальних, похилих тріщин та ширини їхнього розкриття за розповсюдженими методиками з дослідними даними.

**Ключові слова:** залізобетонні елементи, тріщиноутворення, деформаційна модель

**Вступ.** Опір залізобетонних елементів сумісній дії декількох внутрішніх силових факторів (поперечних і поздовжніх сил, згинальних і крутних моментів) є однією з найбільш важливих і не до кінця вивченою проблемою як в теорії залізобетону, так і в реальному проектуванні. У зв'язку з цим виконання систематизованих експериментально-теоретичних досліджень з метою вдосконалення існуючих і розробки сучасних розрахункових моделей приопорних ділянок стержневих залізобетонних елементів являється важливим завданням.

Згідно затвердженої держбюджетної тематики в Одеській державній академії будівництва та архітектури виконуються широкомасштабні експериментально-теоретичні дослідження працездатності прогінних залізобетонних елементів при складному їхньому напружено-деформованому стані [1].

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Існуючі методи розрахунку міцності похилих перерізів залізобетонних елементів при дії поперечних і поздовжніх сил, згинального і крутного моментів внаслідок відсутності системного підходу і урахування достовірного впливу цілого ряду факторів, в тому числі складного напружено-деформованого стану елементів, ще не досягли такого рівня, щоби їх можна було б прийняти у якості нормативних методів.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Вивченню несучої здатності нормальних перерізів присвячені чисельні праці вітчизняних та зарубіжних дослідників, а несуча здатність похилих перерізів вказаних елементів залишається ще недостатньо вивченою. Існуючі методи розрахунку включають проблему міцності без питань жорсткості та тріщиноустійкості.

**Постановка завдання.** Основною метою є дослідження тріщиноустійкості приопорних ділянок нерозрізних залізобетонних балок з урахуванням конструктивних чинників та факторів зовнішньої дії для вдосконалення існуючих і розробки сучасних розрахункових моделей.

**Основний матеріал і результати.** Працездатність нерозрізних двопрогінних залізобетонних балок вивчали в V серії [1] дослідів, реалізований за майже Д– оптимальним п'ятифакторним планом типу На – 5. В якості дослідних факторів вибрали:

- відносний прогін зрізу,  $c/h_0 = 1 \dots 3$  (фактор  $X_1$ );
- клас бетону, В15...В35 ( $X_2$ );
- кількість поперечної арматури,  $\mu_{sw} = 0,0018 \dots 0,0050$  ( $X_3$ );
- кількість нижнього поздовжнього армування,  $\mu_{sH} = 0,0101 \dots 0,0199$  ( $X_4$ );
- кількість верхньої поздовжньої арматури,  $\mu_{sB} = 0,0101 \dots 0,0199$  ( $X_5$ ).

Дослідні зразки мали вигляд двопрогінних залізобетонних балок з розмірами поперечного перерізу 180×100мм і величиною прогонів 2×1240мм. Балки були армовані двома плоскими каркасами згідно плану експерименту. В якості поздовжньої використали арматурну сталь А 500С, поперечної в прогонах зрізу – ВрІ, на других ділянках – А 240С.

Статичне навантаження дослідних балок здійснювали ступенями за допомогою двох зосереджених сил, розташованих симетрично по відношенню до середньої опори.

Появу тріщин фіксували за допомогою лупи і мікроскопа. Ширину розкриття тріщин вимірювали мікроскопом з точністю 0,05 мм. Механізм деформування, тріщиноутворення та руйнування нерозрізних залізобетонних балок суттєво відрізняється від роботи однопрогінних залізобетонних елементів.

В процесі навантаження дослідних балок першими появлялися нормальні тріщини над середньою опорою в зоні дії максимального згинального моменту.

Нормальні тріщини під зосередженими силами та похилі в прогонах зрізу чередувалися між собою. На їхню появу та ширину розкриття великий вплив має співвідношення дослідних факторів (табл.1). Як правило, після утворення нормальних тріщин над середньою опорою появляються похилі тріщини в прогонах зрізу, а потім – нормальні тріщини під зосередженими силами в прогонах балки. Тільки в чотирьох дослідах (№4, 7, 14,15) з максимальним прогоном зрізу ( $c/h_0=3$ ) та мінімальною кількістю нижньої поздовжньої арматури ( $\mu_{sH} = 0,0101$ ) появи похилих тріщин передувало утворення нормальних тріщин під зосередженими силами.

**Таблиця 1 – Середні значення зовнішнього навантаження та внутрішніх зусиль, що відповідають появі нормальних тріщин над середньою опорою, під зосередженими силами і похилих тріщин у прогоні зрізу.**

№ п/п	$\hat{F}_{crc,\perp}^{on}$	$\bar{M}_{crc,\perp}^{on}$	$\hat{F}_{crc,\perp}^{сил}$	$\bar{M}_{crc,\perp}^{сил}$	$\hat{F}_{crc,/}$	$\bar{M}_{crc,/}^{on}$	$\bar{M}_{crc,/}^{сил}$	$\hat{Q}_{crc,/}$
1	18,22	4,33	65,00	4,49	50,91	12,02	7,27	41,51
2	21,60	2,79	124,00	2,63	31,77	4,13	0,72	31,16
3	30,69	4,01	103,00	4,14	50,01	6,50	1,06	49,10
4	10,20	2,46	30,00	2,34	30,87	7,25	4,42	25,11
5	33,35	4,37	169,00	4,23	50,40	6,57	1,09	49,47
6	11,66	2,76	34,00	2,82	31,26	7,32	4,45	25,48
7	16,75	3,92	36,00	4,27	50,52	11,94	7,24	41,14
8	18,93	2,44	82,00	2,29	31,38	4,06	0,69	30,80
9	31,16	4,08	105,00	4,30	50,40	6,62	1,09	49,47
10	10,67	2,42	34,00	2,82	31,26	7,37	4,45	25,48
11	18,20	4,32	55,00	3,96	50,52	11,99	7,24	41,14
12	21,58	2,79	115,00	2,52	31,38	4,10	0,69	30,80
13	33,33	4,35	159,00	4,02	50,01	6,54	1,06	49,10
14	11,64	2,74	26,00	2,53	30,87	7,29	4,42	25,11
15	17,22	4,10	39,00	4,38	50,91	12,06	7,27	41,51
16	19,40	2,51	86,00	2,68	31,77	4,17	0,72	31,16
17	14,32	3,38	43,00	3,43	40,89	9,59	5,85	33,31
18	26,26	3,42	117,00	3,33	40,89	5,27	0,89	40,13
19	21,19	4,19	69,00	4,22	50,46	10,21	4,03	46,02
20	12,03	2,61	54,00	2,58	31,32	6,64	2,43	28,85
21	16,61	3,39	62,00	3,39	40,89	8,37	3,23	37,43
22	16,61	3,42	61,00	3,36	40,89	8,37	3,23	37,43
23	16,73	3,42	62,00	3,52	41,08	8,40	3,25	37,62
24	16,49	3,38	61,00	3,24	40,70	8,33	3,21	37,25
25	17,52	3,56	75,00	3,38	40,89	8,37	3,23	37,43
26	15,70	3,24	48,00	3,38	40,89	8,37	3,23	37,43
27	16,61	3,40	62,00	3,38	40,89	8,37	3,23	37,43

Така особливість характеру тріщиноутворення зумовлена роботою балки як один раз статично невизначеного елемента, у якого згинальний момент над середньою опорою в декілька разів перевищує такі ж моменти під зосередженими силами, а поперечні сили на прилеглих до середньої опори ділянках є значно меншими від прикладених зосереджених сил.

В процесі і після утворення пластичного шарніра над середньою опорою, який характеризується текучістю верхньої поздовжньої арматури балки і (або) роздробленням бетону стиснутої зони має місце перерозподіл внутрішніх зусиль з різким збільшенням згинальних моментів під зосередженими силами і стабільним його значенням над вказаною опорою, що підтверджується дослідженнями [2,3,4].

В процесі обробки отриманих експериментальних даних (табл.1) за методикою [5], відхилення не значимих коефіцієнтів рівнянь регресії і перерахунку тих коефіцієнтів, що залишилися, отримані відповідні математичні моделі (1)...(11), що володіють достатньою інформаційною прийнятністю і за якими можна оцінити вплив дослідних факторів на вихідні параметри з геометричною інтерпретацією цього впливу, представленою на рисунках 1–4.

$$\hat{F}_{crc,\perp}^{on} = 16,61 - 5,97X_1 + 4,58X_2 + 0,91X_5 + 3,68X_1^2 - 1,3X_1X_2; \quad (1)$$

$$\Sigma = (\bar{Y} - Y)^2 = 1,91; \quad \sigma = \sqrt{\frac{(\bar{Y} - Y)^2}{n-1}} = 0,27; \quad \nu = \frac{\sigma}{b_0} \times 100\% = 1,6\%.$$

$$\begin{aligned} \bar{M}_{crc,\perp}^{on} &= 3,4 + 0,79X_2 + 0,16X_5; \\ \Sigma &= 0,03; \quad \sigma = 0,03; \quad \nu = 1,0\%. \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \hat{F}_{crc,\perp}^{cul} &= 61,56 - 38,78X_1 + 11,94X_2 + 14,39X_5 + 17,44X_1^2 - 9,38X_1X_5; \\ \Sigma &= 1062; \quad \sigma = 6,40; \quad \nu = 10,4\%. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \bar{M}_{crc,\perp}^{cul} &= 3,38 + 0,82X_2 + 0,14X_4; \\ \Sigma &= 0,19; \quad \sigma = 0,08; \quad \nu = 2,5\%. \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \hat{F}_{crc,/}^{cul} &= 40,89 + 9,57X_2; \\ \Sigma &= 1,72; \quad \sigma = 0,26; \quad \nu = 0,63\%. \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \bar{M}_{crc,/}^{on} &= 8,37 + 2,61X_1 + 1,78X_2 - 0,9X_2 + 0,56X_1X_2; \\ \Sigma &= 0,05; \quad \sigma = 0,04; \quad \nu = 0,54\%. \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \bar{M}_{crc,/}^{cul} &= 3,23 + 2,48X_1 + 0,8X_2 + 0,14X_1^2 + 0,61X_1X_2; \\ \Sigma &= 0; \quad \sigma = 0,01; \quad \nu = 0,42\%. \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \bar{Q}_{crc,/} &= 37,43 - 3,4X_1 + 8,58X_2 - 0,71X_1^2 - 0,57X_1X_2; \\ \Sigma &= 0,61; \quad \sigma = 0,15; \quad \nu = 0,41\%. \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \bar{a}_{crc,\perp}^{cul} &= 0,20 + 0,02X_1^2 - 0,03X_2^2 - 0,04X_3^2 + 0,05X_4^2 - 0,03X_5^2 - 0,02X_1X_4 - \\ &\quad - 0,014X_1X_5 + 0,025X_2X_4 + 0,01X_2X_5; \\ \Sigma &= 0,02; \quad \sigma = 0,03; \quad \nu = 13\%. \end{aligned} \quad (9)$$

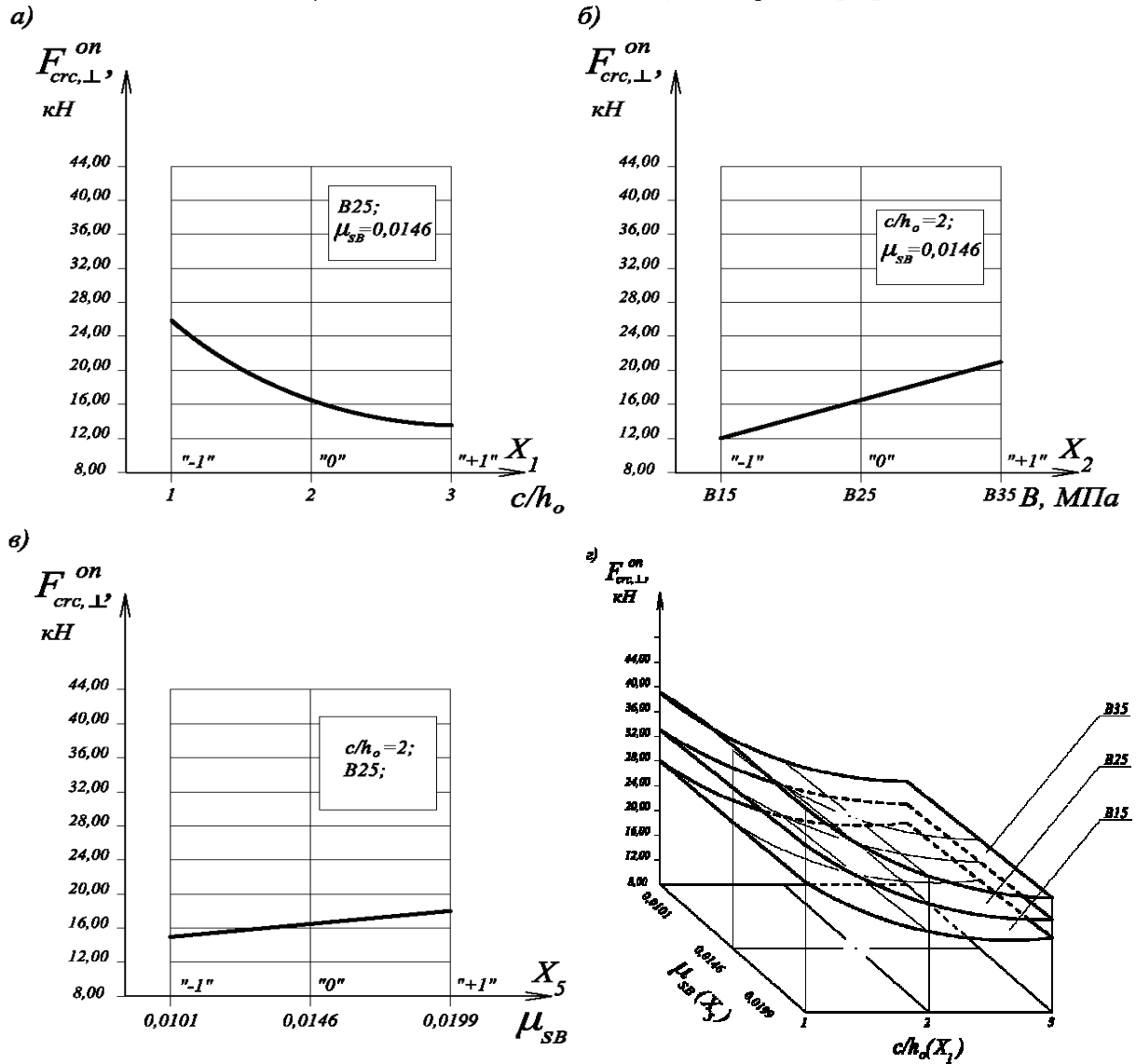
$$\begin{aligned} \bar{a}_{crc,\perp}^{on} &= 0,19 + 0,01X_2 + 0,04X_4^2 - 0,04X_5^2 - 0,01X_1X_2 - 0,016X_1X_4 + \\ &\quad + 0,034X_2X_4 + 0,16X_2X_5 + 0,01X_4X_5 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\Sigma=0,02; \quad \sigma=0,025; \quad \nu=13\%.$$

$$\bar{a}_{crc, /} = 0,67 - 0,04X_2 - 0,06X_3 + 0,12X_1^2 + 0,19X_2^2 - 0,21X_3^2 - 0,06X_4^2 - 0,06X_1X_2 - 0,06X_2X_4 - 0,05X_2X_5 - 0,06X_3X_4 + 0,11X_4X_5; \quad (11)$$

$$\Sigma=0,12; \quad \sigma=0,07; \quad \nu=10\%.$$

$$\hat{Y}F_{crc, \perp}^{on} = 16,61 - 5,97X_1 + 4,58X_2 + 0,91X_3 + 3,68X_1^2 - 1,30X_1X_2$$



**Рисунок 1 – Залежність зовнішніх сил, що відповідають появі нормальних тріщин під зосередженими силами дослідних балок, від відносного прогону зрізу (а), класу бетону (б), кількості верхньої (в), нижньої поздовжньої арматури (г), комплексного впливу дослідних факторів (д).**

На величину зовнішнього навантаження, що відповідає утворенню нормальних тріщин над середньою опорою і під зосередженими силами в прогонах, мають вплив, як це видно із моделей (1), (3), три дослідні фактори: величина відносного прогону зрізу ( $X_1$ ), клас бетону ( $X_2$ ), кількість верхньої поздовжньої арматури ( $X_5$ ). Величини згинальних моментів, від яких, власне, утворюються нормальні тріщини над опорою і під зосередженими силами в прогонах (моделі (2), (4), традиційно залежать тільки від класу бетону і кількості, відповідно, верхньої та нижньої поздовжньої арматури.

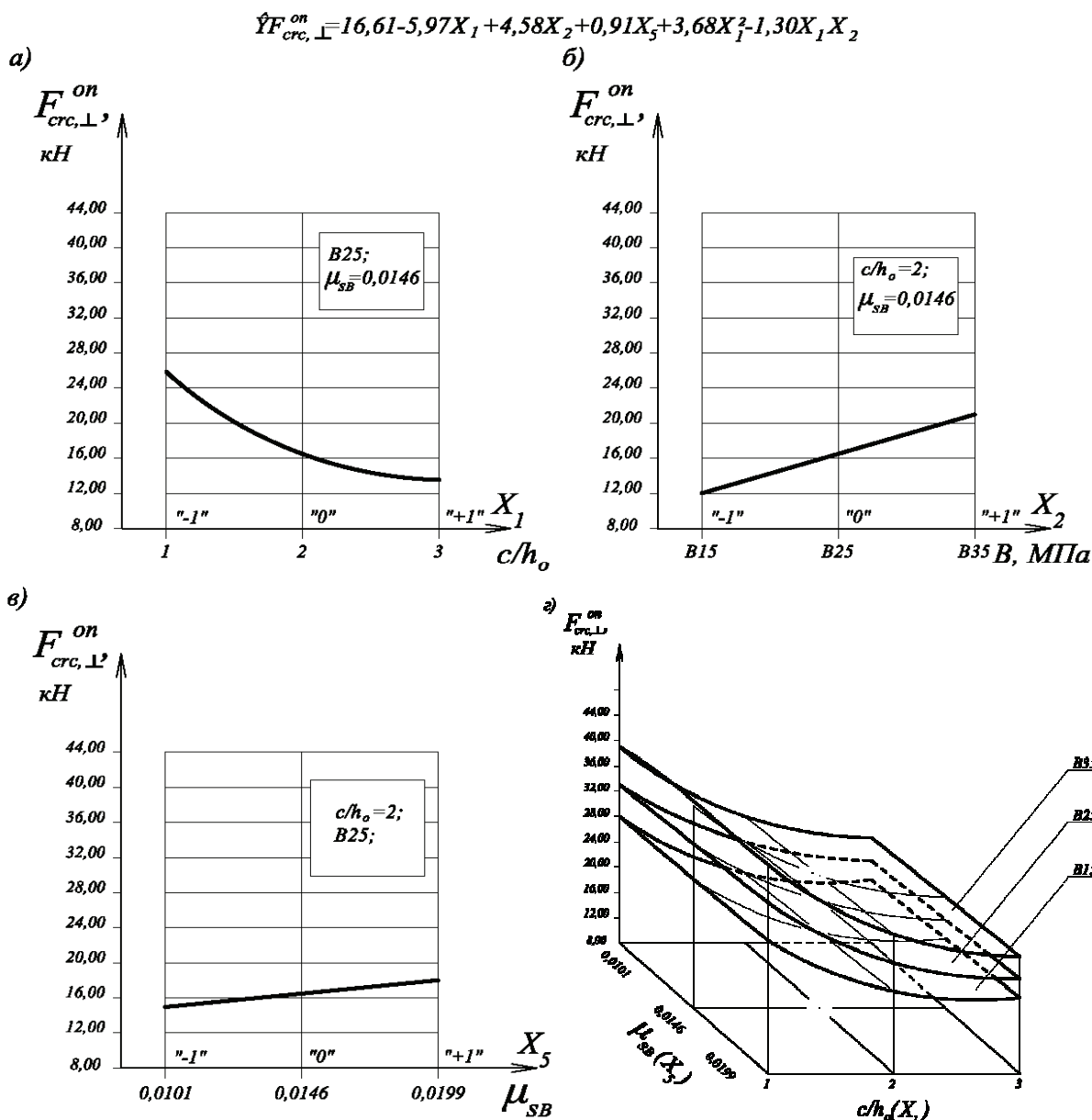


Рисунок 2 – Залежність зовнішніх сил, що відповідають появі нормальних тріщин над середніми опорами дослідних балок, від відносного прогону зрізу (а), класу бетону (б), кількості верхньої (в) поздовжньої арматури, комплексного впливу дослідних факторів (г).

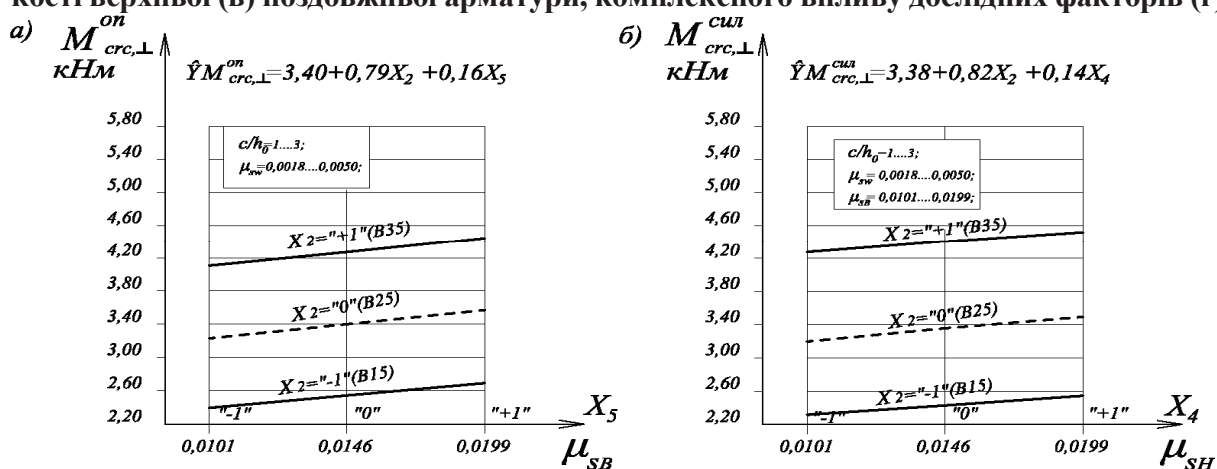


Рисунок 3 – Залежність моменту появи нормальних тріщин над середньою опорою (а) та зосередженими силами (б) від класу бетону, кількості верхньої та нижньої поздовжньої арматури

Так, моменти тріщиноутворення над середньою опорою і під зосередженими силами збільшуються по відношенню до своїх середніх значень при збільшенні:

- класу бетону від В15 до В35 в середньому на 47,5%;
- кількості поздовжньої верхньої (нижньої) арматури, відповідно на 9,4% і 8,3%.

Величина зовнішнього навантаження, при якому утворюються похилі тріщини (модель (5), значимо залежить тільки від класу бетону. При його збільшенні від мінімальних до максимальних значень  $\hat{F}_{crс./}$  зростає на 47% по відношенню до його середнього значення.

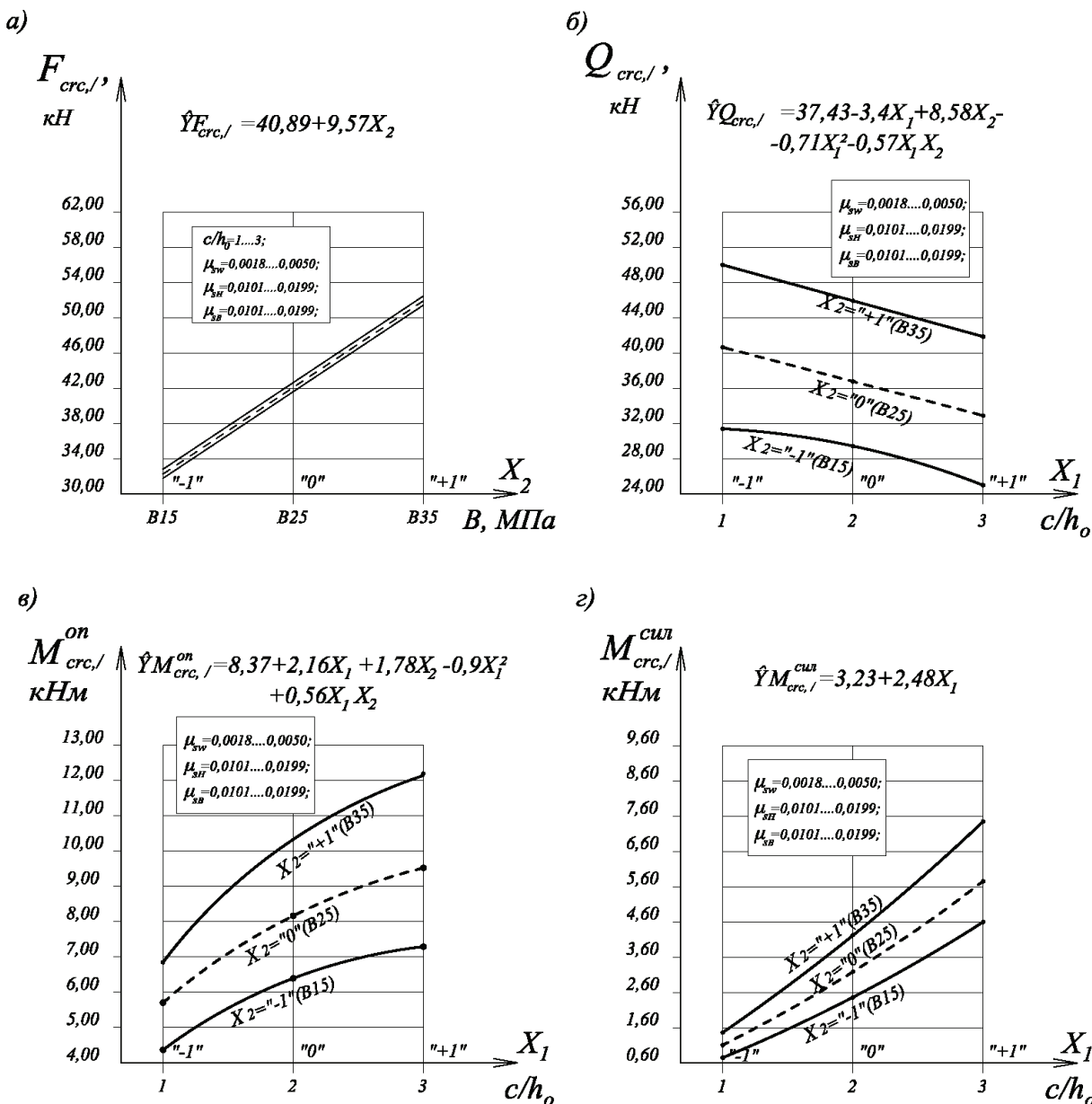


Рисунок 4 – Вплив класу бетону на зовнішнє навантаження (а) і відносного прогону зрізу на поперечну силу (б) утворення похилих тріщин, а також відносного прогону зрізу на моменти над опорою (в) та під зосередженими силами (г), відповідними появі вказаних тріщин

Поперечна сила, що відповідає утворенню похилих тріщин, суттєво залежить тільки від двох факторів: відносного прогону зрізу і класу бетону. Так,  $\bar{Q}_{crс./}$  збільшується по відношенню до його середнього значення (37,43кН):

**Таблиця 2 – Порівняння результатів розрахунків утворення нормальних та похилих тріщин в прогонах зрізу балок з дослідними даними**

№ досліду	Досл. знач. (за мат. моделлю), $F_{кр,л}, кН$		Відповідне дослідне значення, $\bar{M}_{кр,л}, кН\cdot м$		Утворення нормальних тріщин над середніми опорами та під зосередженими силами			Утворення похилих тріщин між середньою опорою та зосередженими силами			Розрахункове значення навантаження, що відповідає появі похилих тріщин			
	$F_{кр,л}, кН$	$F_{кр,л}, кН$	$\bar{M}_{кр,л}, кН\cdot м$	$\bar{M}_{кр,л}, кН\cdot м$	$M_{кр,л}, кН\cdot м$	$M_{кр,л}, кН\cdot м$	$\frac{F_{кр,л}}{M_{кр,л}}$	$F_{кр,л}, кН$	$\bar{M}_{кр,л}, кН\cdot м$	$\bar{Q}_{кр,л}, кН$	$F_{кр,л}, кН$	$F_{кр,л}, кН$	$F_{кр,л}, кН$	
														СНИП 2.03.01.-84*
1	18,51	57,17	4,35	4,34	2,81	3,44	18,5/4,40	51,0	11,97	7,26	41,6	19,0	110,0	51,5
2	21,29	129,6	2,77	2,70	1,60	4,14	21,0/2,73	31,3	4,09	0,70	30,7	26,0	130,0	30,5
3	31,23	105,9	4,03	4,06	2,81	2,66	30,0/3,91	49,7	6,53	1,08	48,7	39,0	90,0	49,0
4	10,13	23,27	2,45	2,42	1,60	2,74	10,0/2,36	30,7	7,29	4,44	25,0	19,0	128,0	31,0
5	33,05	153,5	4,35	4,34	2,81	3,45	34,0/4,43	50,9	6,53	1,08	49,9	40,0	95,0	50,5
6	11,95	33,29	2,77	2,70	1,60	4,14	11,5/2,72	30,9	7,29	4,44	25,2	21,4	145,0	32,0
7	16,69	47,15	4,03	4,06	2,81	2,66	16,5/3,89	50,7	11,97	7,26	41,3	8,0	110,0	52,0
8	19,47	82,07	2,45	2,42	1,60	2,74	18,0/2,34	31,1	4,09	0,70	30,5	20,0	75,0	30,0
9	31,23	105,9	4,03	4,34	2,81	2,49	31,0/4,04	50,6	6,53	1,08	49,6	18,0	95,0	50,0
10	10,13	23,27	2,45	2,70	1,60	2,50	10,5/2,48	31,3	7,29	4,44	25,5	20,0	140,0	32,0
11	18,51	57,17	4,35	4,06	2,81	3,66	18,0/4,25	50,8	11,97	7,26	41,4	12,0	102,0	52,0
12	21,29	129,6	2,77	2,42	1,60	4,49	20,5/2,67	31,6	4,09	0,70	31,0	26,0	120,0	30,5
13	33,05	153,5	4,35	4,06	2,81	3,60	32,5/4,23	50,4	6,53	1,08	49,4	17,5	100,0	50,0
14	11,95	33,29	2,77	2,42	1,60	4,49	11,0/2,6	30,8	7,29	4,44	25,1	21,0	100,0	32,0
15	16,69	47,15	4,03	4,34	2,81	2,49	17,0/4,01	51,3	11,97	7,26	41,8	8,0	110,0	53,0
16	19,47	82,07	2,45	2,70	1,60	2,50	18,5/2,41	31,6	4,09	0,70	31,0	20,0	130,0	30,5
17	14,32	40,22	3,40	3,38	2,24	3,17	14,0/3,31	40,4	9,63	5,85	32,9	12,0	95,0	42,0
18	26,26	117,8	3,40	3,38	2,24	3,17	25,5/3,32	41,2	5,31	0,89	40,4	22,0	115,0	41,0
19	21,19	73,50	4,19	4,20	2,81	3,02	20,7/4,11	49,2	10,15	4,03	45,1	20,0	100,0	48,0
20	12,03	49,62	2,61	2,56	1,60	3,50	12,8/2,54	33,1	6,59	2,43	30,3	27,0	120,0	35,0
21	16,61	61,56	3,40	3,38	2,24	3,17	17,0/3,37	40,2	8,37	3,23	36,8	26,0	115,0	40,0
22	16,61	61,56	3,40	3,38	2,24	3,17	17,0/3,37	41,4	8,37	3,23	37,9	26,0	115,0	40,0
23	16,61	61,56	3,40	3,52	2,24	3,05	17,2/3,41	41,0	8,37	3,23	37,6	26,0	117,0	40,0
24	16,61	61,56	3,40	3,24	2,24	3,28	16,6/3,29	40,6	8,37	3,23	37,2	26,0	117,0	40,0
25	17,52	75,95	3,56	3,38	2,24	3,86	17,7/3,51	41,4	8,37	3,23	37,9	26,0	117,0	40,0
26	15,70	47,17	3,24	3,38	2,24	2,60	16,1/3,19	40,5	8,37	3,23	37,1	26,0	117,0	40,0
27	16,61	61,56	3,40	3,38	2,24	3,17	16,9/3,35	40,4	8,37	3,23	37,0	26,0	117,0	40,0
Середнє квадратичне відхилення					38,9	24,1	10,7/0,18					12971	147942	28
Стандарт					1,2	0,96	0,64/0,08					22	75	1,0
Коефіцієнт варіації					36%	28%	3,9%/2,5%					55%	184%	2,6%

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

№дослідду	Ширина розкриття нормальних тріщин, мм								Ширина розкриття похилих тріщин		
	Дослідні значення (за математичною моделлю), $\hat{a}_{срс,л}$ , мм		Розрахункові значення ширини розкриття нормальних тріщин, визначених за рекомендаціями						Дослідні значення $\hat{a}_{срс,л}$ , мм (за математичною моделлю)	Розрахункові значення ширини розкриття похилих тріщин, визначених за рекомендаціями	
	$\hat{a}_{срс,л}^{оп}$	$\hat{a}_{срс,л}^{сил}$	$a_{срс,л}$ , СНИП 2.03.01-84*		$a_{срс,л}$ , СНИП 52.01, Росія		$a_{срс,л}$ , НДІБК, м.Київ			$a_{срс,л}$ , СНИП 2.03.01-84*	$a_{срс,л}$ , НДІБК, м.Київ
			$a_{срс,л}^{оп}$	$a_{срс,л}^{сил}$	$a_{срс,л}^{оп}$	$a_{срс,л}^{сил}$	$a_{срс,л}^{оп}$	$a_{срс,л}^{сил}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,23	0,17	0,17	0,17	0,12	0,12	0,10	0,10	0,49	0,21	0,15
2	0,15	0,17	0,18	0,18	0,13	0,13	0,10	0,10	0,79	0,17	0,22
3	0,15	0,10	0,24	0,24	0,12	0,12	0,19	0,19	0,95	0,13	0,06
4	0,27	0,24	0,21	0,21	0,12	0,12	0,10	0,10	0,81	0,13	0,08
5	0,29	0,24	0,17	0,17	0,12	0,12	0,16	0,16	0,85	0,13	0,06
6	0,13	0,10	0,18	0,18	0,13	0,13	0,09	0,09	1,15	0,14	0,08
7	0,17	0,17	0,24	0,24	0,12	0,12	0,12	0,12	0,83	0,16	0,15
8	0,21	0,17	0,21	0,21	0,12	0,12	0,12	0,12	0,69	0,12	0,22
9	0,23	0,19	0,23	0,22	0,18	0,09	0,18	0,17	0,49	0,21	0,15
10	0,15	0,15	0,21	0,28	0,18	0,09	0,10	0,09	0,59	0,17	0,22
11	0,18	0,16	0,16	0,17	0,09	0,18	0,13	0,14	0,51	0,06	0,06
12	0,16	0,18	0,14	0,14	0,09	0,18	0,10	0,11	0,57	0,11	0,08
13	0,17	0,15	0,16	0,17	0,09	0,18	0,17	0,18	0,63	0,21	0,15
14	0,21	0,19	0,14	0,14	0,09	0,18	0,09	0,10	0,69	0,17	0,22
15	0,18	0,18	0,23	0,22	0,18	0,09	0,14	0,13	0,61	0,13	0,06
16	0,16	0,16	0,21	0,28	0,18	0,09	0,11	0,10	0,71	0,14	0,08
17	0,19	0,22	0,18	0,18	0,12	0,12	0,11	0,11	0,79	0,16	0,11
18	0,19	0,22	0,18	0,18	0,12	0,12	0,14	0,14	0,79	0,14	0,11
19	0,20	0,17	0,20	0,20	0,12	0,12	0,18	0,18	0,82	0,10	0,10
20	0,18	0,17	0,17	0,17	0,13	0,13	0,08	0,08	0,90	0,14	0,15
21	0,19	0,16	0,18	0,18	0,12	0,12	0,11	0,11	0,40	0,17	0,17
22	0,19	0,16	0,18	0,18	0,12	0,12	0,14	0,14	0,52	0,13	0,07
23	0,23	0,25	0,18	0,18	0,15	0,11	0,13	0,13	0,61	0,16	0,11
24	0,23	0,25	0,18	0,18	0,11	0,15	0,14	0,15	0,61	0,08	0,11
25	0,15	0,17	0,15	0,15	0,11	0,15	0,13	0,14	0,67	0,13	0,11
26	0,15	0,17	0,22	0,21	0,15	0,11	0,15	0,14	0,67	0,13	0,11
27	0,19	0,20	0,18	0,18	0,12	0,12	0,14	0,14	0,67	0,13	0,11
Середнє квадратичне відхилення ( $\Sigma$ )			0,06	0,09	0,17	0,13	0,16	0,13		9,06	9,77
Стандарт ( $\sigma$ )			0,05	0,06	0,08	0,07	0,08	0,07		0,59	0,61
Коефіцієнт варіації ( $v$ )			25,89	29,75	42,41	35,61	41,00	35,38		88,10	91,47



- при зменшенні відносного прогону зрізу  $c/h_0$  від 3 до 1 на 18%;
- більшенні класу бетону від В15 до В35 на 46%.

Наявність від'ємного знаку при квадратичному ефекті ( $X^2_1$ ) свідчить, що при подальшому зменшенні  $c/h_0 < 1$  величина  $\bar{Q}_{crc,}$  зростатиме стрімкіше. Суттєво взаємодіють поміж собою обидва названі фактори: при одночасному зменшенні відносного прогону зрізу та збільшенні класу бетону вихідний параметр  $\bar{Q}_{crc,}$  збільшуватиметься.

На ширину розкриття тріщин більшість дослідних факторів впливають нелінійно, взаємодіючи між собою при цьому.

Порівняння результатів розрахунків появи та розкриття тріщин за розповсюдженими методами з дослідними даними приведено в таблицях 2 та 3.

#### **Висновки:**

1. Порівняння результатів розрахунків за методикою діючих норм з дослідними даними показало незадовільну їхню збіжність.

2. Виконані дослідження вказують на правомірність застосування деформаційних моделей для прогнозу параметрів тріщиностійкості залізобетонних елементів та необхідність їхнього вдосконалення.

#### *Література*

1. *Дорофеев В. О необходимости и постановке системных исследований прочности, трещиностойкости и деформативности приопорных участков железобетонных элементов, испытывающие сложные деформации, с целью уточнения и развития методов их расчета / В. С. Дорофеев, В. М. Карпюк, А. Г. Аветисян, Е. Н. Крантовская и др. // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2005. – Вип. 62. – С. 160 – 167.*
2. *Бабич В.Є. Про граничні умови перерозподілу зусиль в нерозрізних залізобетонних балках / В. Є. Бабич // Вісник Українського державного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. праць. – Рівне: УДУВГП, 2003. – Вип.6(19). – С.196 – 201.*
3. *Бамбура А.М. Расчет железобетонных статически неопределимых систем с учетом реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры / А. М. Бамбура // Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в строительную практику: тезисы докладов респ. научно-техн.конф. – Полтава, 1989. – Ч.1. – С. 6 – 7.*
4. *Бабич В.Є. Напружено-деформований стан нерозрізних залізобетонних балок з урахуванням повної діаграми деформування бетону / В. Є. Бабич // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХТУБА, 1999. – Вип.7. – С. 101 – 107.*
5. *Вознесенский В.А. Статические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. - 2-е изд., испр. и доп. - М: Финансы и статистика, 1981, – 215 с.*

*Е.М. Крантовская, к.т.н., доцент  
Л.М. Ксеникевич, к.т.н.*

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

## **ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ И ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН В НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ**

*Приведены экспериментальные значения нагрузки и внутренних усилий, соответствующие появлению нормальных трещин над средней опорой и наклонных трещин в пролете среза, а также их ширины раскрытия. Сделан анализ влияния действующих факторов на*

выходные параметры по соответствующим математическим моделям с их графическим отображением. Выполнено сравнение результатов расчетов образования нормальных, наклонных трещин и ширины их раскрытия по распространенным методикам с опытными данными.

**Ключевые слова:** железобетонные элементы, трещинообразование, деформационная модель

*E.M. Krantovska, Ph.D., associate professor  
L.M. Ksyonshkevich, Ph.D.  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*

## **FORMATION OF CRACKS AND WIDTH OF OPENING CRACKS IN UNSLIT REINFORCED CONCRETE BEAMS**

*Resulted experimental values of loading and internal efforts, which answer appearance of normal cracks above middle support and sloping cracks in of cut, and also their width of opening. Done analysis of influencing of operating factors on initial parameters after the proper mathematical models with their graphic reflection. Comparison of results of calculations of formation of normal, sloping cracks and width of their opening is executed after widespread methods with experimental information.*

**Keywords:** reinforced concrete elements, cracking, deformation models

*Надійшла до редакції 30.10.2014  
© О.М. Крантовська, Л.М. Ксьонішевич*