

**РОЗРАХУНОК НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПРИОПОРНИХ  
ДІЛЯНОК ПРОГІННИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ  
ЗА ЗАРУБІЖНИМИ НОРМАТИВНИМИ ДОКУМЕНТАМИ**

Дорофєєв В.С., Карпюк В.М., Крантовська О.М., Петров М.М.,  
Мержиєвська М.Ю.,

Одеська державна академія будівництва та архітектури,  
м. Одеса, Україна

Мартінова О.Б.

Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна

**АННОТАЦІЯ:** Представлені результати розрахунку міцності приопорних ділянок звичайних і з урахуванням дії крутного моменту, позакентровано розтягнутих і стиснутих, а також нерозрізних залізобетонних балок за старими СНиП 2.03.01-84\*, новими російськими СНиП 52.101-03, європейськими EUROCODE-2, американськими АСІ CODE 318-95, японськими АСІ CODE, 1988, канадськими CSA 23.3-94 та німецькими DIN 1045-1.12.1998 нормами. Зроблено порівняння фактичної та розрахункової за вказаними нормами несучої здатності похилих перерізів дослідних елементів, дана оцінка точності такого прогнозу.

**АННОТАЦИЯ:** Представлены результаты расчета прочности приопорных участков обычных и с учетом действия крутящего момента, внецентренно растянутых и сжатых, а также неразрезных железобетонных балок по старым СНиП 2.03.01-84\*, новым российским СНиП 52.101-03, европейским EUROCODE-2, американским АСІ CODE 318-95, японским АСІ CODE, 1988, канадским CSA 23.3-94 и немецким DIN 1045-1.12.1998 нормам. Сделано сравнение фактической и расчетной по указанным нормам несущей способности наклонных сечений опытных элементов, дана оценка точности такого прогноза.

**ABSTRACT:** Presents the results of strength calculations priopornyh plots of conventional and taking into account the action of torque eccentrically stretched and compressed, as well as of continuous reinforced concrete beams in the old SNIP 2.03.01-84 \*, the new Russian SNIP 52.101-03, European EUROCODE-2, the American АСІ CODE 318-95, Japanese АСІ CODE, 1988, the Canadian

CSA 23.3-94 and the German DIN 1045-1.12.1998 standards. Made comparison of actual and calculated by those standards the bearing capacity of the inclined sections of experimental items, assessed the accuracy of this forecast.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Побудова загальної розрахункової моделі, яка змогла б адекватно змодельовати напружено-деформований стан та достовірно описати опір конструкції дії зрізу в комбінації зі згином, розтягом, стиском та крученням, є однією з найбільш складних задач у теорії залізобетону. У зв'язку з цим у практичних розрахунках міцності похилих перерізів залізобетонних елементів фахівці користуються умовними моделями, так званими, інженерними методиками, побудованими, як правило, на софістських аналогіях [1].

Методи розрахунку міцності приопорних ділянок залізобетонних конструкцій національних норм проектування різних країн окрім загально відомого методу граничних зусиль у редакції СНиП 2.03.01-84\*, опираючись на класичну модель ферменної аналогії W. Ritter – E. Mörsh [2, 3] та різні модифікації [4, 5, 6], арочну аналогію або поєднання ферменної та арочної моделей [7], передбачають, як правило, окремий розрахунок похилих перерізів на дію поперечних сил і нормальних перерізів - на дію згинальних моментів.

Приоритетним напрямком досліджень і публікацій з вказаної теми в останні роки в Україні є розвиток нормативної бази в області будівельних конструкцій та впровадження деформаційного методу розрахунку їхньої несучої здатності. І якщо вивченню несучої здатності нормальних перерізів присвячені чисельні праці вітчизняних та зарубіжних дослідників, то несуча здатність похилих перерізів прогінних елементів залишається ще недостатньо вивченою.

## АНАЛІЗ ВІДОМИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

В останні роки у міжнародній практиці відновився інтерес до вивчення питань, пов'язаних з міцністю похилих перерізів та приопорних ділянок в цілому. За даними [1, 8] за кожні п'ять останніх років в ACI Journal розміщується 800...1000 публікацій з питань зрізу залізобетонних конструкцій. Проте, розрахункові методи, що вносяться у норми проектування більшості країн світу, залишаються, як і раніше, консервативними. Так, наприклад, якщо у EUROCODE-2, вітчизняних ДБН В.2.6-98 і ДСТУ Б В.2.6-156:2010 внесені суттєві корективи у багато розділів норм, то положення, що відносяться до розрахунку приопорних

ділянок прогінних конструкцій, залишаються на позиціях моделі ферменної аналогії зі змінним кутом нахилу бетонного підкосу [6].

У німецьких нормах DIN 1045-1.12.1998 [5] міститься розрахункова модель, що базується на положеннях модифікованої ферменної аналогії [9], яка урахує складову поперечної сили, яка сприймається похилим перерізом за рахунок сил зчеплення на берегах діагональної тріщини. Разом з тим, при розрахунку поперечного армування кут нахилу стиснутого бетонного підкосу рекомендовано приймати сталим ( $Q=40^\circ$ ). Це значення близьке до нижнього значення кута нахилу стиснутого підкосу, при якому згідно з рекомендаціями [10] можна очікувати, що напруження у поперечній арматурі дійсно будуть близькими до границі текучості. Такий підхід дещо покращив розрахункову модель, але надійність розрахункових формул залишилася на попередньому рівні.

Як правило, вдосконалення розрахункових методів, що базуються на моделі ферменної аналогії, призводить до все більшої кількості розрахункових формул, в основному, емпіричного походження. У якості прикладу можна навести останню версію американських норм [4]. Норми ACI CODE 318-95 [4] містять у собі 43! формули, які ураховують різні умови навантаження і застосовуються для проектування окремих типів елементів однієї і тієї ж конструкції.

Фахівці приходять до висновку, що вдосконалення розрахунків на зріз у рамках методів ферменної аналогії має досить скромні перспективи. Проте, ця модель, як і раніше, залишається привабливою для проектувальників завдяки своїй простоті.

Аналіз вітчизняних публікацій за вказаною темою показує, що у своїй більшості ці роботи, включаючи останню редакцію російських норм [11, 12], направлені не на створення нового загального методу розрахунку, а на вдосконалення методів, закладених в старих нормах.

Разом з тим, починаючи з середини 70-х років минулого століття інтенсивно розвиваються, так звані, "точні" методи в рамках загальної теорії розрахунку залізобетонних конструкцій при деформації зрізу в комбінації зі згином та поздовжніми силами. Практично, всі методи цього напрямку використовують раціональну деформаційну модель, у якій розглядаються рівняння рівноваги, сумісності деформацій та залежності, які пов'язують напруження та деформації залізобетонного елемента з тріщинами. Обширні дослідження залізобетонних панелей, які піддані деформації зрізу, а також зрізу в комбінації з нормальними напруженнями дозволили авторам [13] сформулювати положення модифікованої теорії полів стиску, покладені в основу загального розрахункового методу [8], норвезьких норм NS 3473 E [14] та канадського стандарту [15].

Активно проводили дослідження з метою створення загального методу розрахунку при дії поперечних і поздовжніх сил, а також

згинальних моментів наукові школи професорів О.С. Залесова, П.І. Васильєва, Ю.А.Климова, О.А. Рочняка та інших. Загально відомою є праця О.С. Залесова та Ю.А.Климова [16], А.М. Бамбури, О.В. Голишева, О.І. Давиденка [17] та інших.

Використання числових методів, що базуються на загальній механіці залізобетону, дозволили М.І. Карпенку та його учням (С.Ф. Клованичу, В.С. Кукунаєву, О.Ф. Яременко, Т.Н. Азізову та ін.) з єдиних позицій описувати складний напружено-деформований стан конструкцій, розраховувати їх в цілому, включаючи нормальні та похилі перерізи. Як приклад, можна навести роботу [18].

## МЕТА РОБОТИ

Полягає у визначенні достовірності та безпечності прогнозу несучої здатності припорних ділянок прогінних залізобетонних елементів за найбільш розповсюдженими зарубіжними нормативними документами з урахуванням їх складного напружено-деформованого стану.

## МАТЕРІАЛИ

Для порівняння вибрали результати випробувань шести серій натурних дослідів та двох числових експериментів, змодельованих за допомогою деформаційного методу за результатами попередніх натурних дослідів.

У I, II, III-A...Г серіях розглядалися балки прямокутного перерізу розмірами  $100 \times 200$  мм з  $h_0 = 175$  мм, прольотом  $\ell = 9h_0 = 1575$  мм та прольотами зрізу  $a/h_0 = 1, 2, 3$ , виготовленні з важкого бетону класів В 15, 25, 35, армованих двома плоскими каркасами, об'єднаних у серії II в просторовий. У якості нижньої арматури використовували  $2\phi 12, 14, 16$  А500С, верхньої -  $2\phi 8, 10, 12$  А500С, поперечної -  $2\phi 3, 4, 5$  ВрІ.

У I серії випробували балки тільки на поперечний згин двома зосередженими силами, у II серії – на згин з крученням при  $T = 0,3; 0,45; 0,6T_u$ , у III – А, Б серіях – на згин з позакентровим розтягом при  $N_p/R_{bn}bh_0 = 0,05; 0,20; 0,35$ , у III – В – серії на згин з позакентровим стиском  $N_{ct}/R_{bn}bh_0 = 0,2; 0,4; 0,6$ , у III – Г серії – на згин з позакентровим стиском  $N_{ct}/R_{bn}bh_0 = 0,05; 0,20; 0,35$  (числовий експеримент). Ексцентриситет прикладення поздовжньої сили змінювали:

$$e/h_0 = -0,25; 0; +0,25.$$

У IV серії досліджували несучу здатність попередньо напружених таврових залізобетонних елементів з  $h = 200$  мм;  $b = 80$  мм;  $h_0 = 165$  мм;

$\ell = 9,55h_0$ ;  $b_f/b = 2,3,4$ ;  $h_f/h = 0,18; 0,27; 0,36$ ;  $a/h_0 = 1,06; 2,12; 3,18$ ;  
 $A_{sp} = 3,08 \text{ см}^2$ ;  $P/R_{bn}bh_0 = 0; 0,292; 0,584$  ( $\sigma_{sp} = 0,150, 300 \text{ МПа}$ );  $2\phi 3, 4, 5 \text{ Вр I}$  та  
 $S = 8,75 \text{ см}$ .

У V серії випробували двопрогінні нерозрізні балки з  $\ell = 8h_0$ ,  
 $b \times h = 100 \times 180 \text{ мм}$ ;  $h_0 = 155 \text{ мм}$ ; В 15, 25, 35;  $a/h_0 = 1,2,3$ ;  $2\phi 10, 12, 14 \text{ А500С} +$   
 $2\phi 10, 12, 14 \text{ А500С}$ ;  $2\phi 3, 4, 5 \text{ Вр I}$ .

Всі досліді виконували згідно з теорією планування експерименту: I, II, III – Б, В, Г, V серії – за тривірневим п'ятифакторним майже Д-оптимальним планом типу На 5, III-A – серія – за тривірневим двофакторним оптимальним планом Бокса В<sub>2</sub>.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідні та розрахункові значення руйнуючої поперечної сили, визначені за рекомендаціями вказаних норм, приведені у табл. 1...8.

Таблиця 1

Порівняння дослідних та розрахункових значень несучої здатності приопорних ділянок звичайних однопрогінних балок (серія I)

Мел/п	Експериментальні дані Н.М.Ярошевич	СНиП 2.03.01-84*	СНиП 52.101-03	EUROCODE-2	Американські норми АСІ CODE 318-95	Японські норми АСІ CODE, 1988	Канадські норми CSA 23.3-94	Німецькі норми DIN 1045- 1.12.1998
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	63,20	91,24*	60,89	95,47*	83,3*	79,23*	95,36*	91,9*
2	119,00	101,84	82,26	48,92	64,84	55,51	80,52	66,0
3	118,30	108,6	102,3	52,03	64,55	98,36	62,64	62,3
4	32,00	45,9*	34,12	48,92*	46,1*	35,32	47,80*	36,91
5	146,00	138,62	112,6	52,03	64,55	98,36	62,64	62,82
6	42,40	45,87	45,73	48,92	46,14	35,32	47,80	36,91
7	35,20	80,48*	34,49	95,47*	83,3*	79,23*	95,36*	91,93*
8	92,40	101,84	82,26	48,92	64,84	55,51	80,52	66,02
9	157,90	160,54	127,0	95,47	83,25	85,01	95,36	91,93

продовження таблиці 1

10	50,50	62,41*	60,9*	48,92	64,84*	79,23	80,52*	66,02*
11	34,20	51,60*	34,12	52,03*	64,55*	52,61*	62,64*	62,82*
12	92,40	85,30	67,82	48,92	46,14	46,49	47,80	36,91
13	116,90	118,19	103,5	95,47	83,25	85,01	95,36	91,93
14	32,30	62,41	34,49	48,92*	64,84*	79,23*	80,52*	66,02*
15	58,50	69,32*	60,52	52,03	64,55*	52,61	62,64	62,82
16	105,00	85,30	67,82	48,92	46,14	46,49	47,80	36,91
17	46,90	68,72*	46,59	74,86*	64,81*	52,28	70,89	63,13*
18	119,40	124,02	98,20	74,86	64,81	69,31	70,89	63,13
19	75,60	87,84*	69,88	91,49*	73,07	52,28	77,55	76,08
20	55,80	64,25*	60,07	48,92	54,66	46,80	62,70*	50,17
21	71,40	92,03*	70,18	74,86	74,99	71,31	88,71*	78,97
22	67,40	72,44	58,82	52,03	56,30	52,56	55,98	49,87
23	86,00	82,54	71,97	74,86	64,81	52,28	70,89	63,13
24	57,80	69,68*	51,43	74,86*	64,81*	60,80	70,89*	63,13
25	71,20	82,54*	69,88	74,86	64,81	52,28	70,89	63,13
26	70,60	82,54*	69,88	74,86	64,81	60,80	70,89	63,13
27	71,40	82,54*	69,88	74,86	64,81	52,28	70,89	63,13
$\mathcal{D} = \frac{\sigma}{b_0} \cdot 100, \%$								
$\sum (\hat{Q}_u - Q_u)^2$	20,2	23,3	51,6	56,4	66,0	51,1	59,8	
$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\hat{Q}_u - Q_u)^2}{n-1}}$	7206	6895	38830	34732	30925	34100	37070	
	16,6	16,3	38,6	36,5	34,5	36,2	37,8	
Коефіцієнт аварійності, $k_a = n_a/n$	0,52	0,037	0,3	0,33	0,15	0,33	0,22	

Примітка\*: розрахункові значення несучої здатності припорних ділянок дослідних елементів, що більше, ніж на 10% перевищують фактичні дані

Таблиця 2

## Однопрогінні балки при згині з крученням (серія II)

№п/п	Експериментальні дані О.М.Петрова	EUROCODE-2	Американські норми АСІ CODE 318-95	Японські норми АСІ CODE, 1988	Канадські норми CSA 23.3-94	Німецькі норми DIN 1045-1.12.1998
1	2	5	6	7	8	9
1	56,00	85,461*	76,17*	163,713*	101,96*	91,89*
2	164,00	74,861	76,17	94,721	101,96	73,51
3	63,00	53,298	56,75	66,985	59,29	38,97
4	28,00	53,298*	56,75*	62,936*	59,29*	48,72*
5	104,00	53,298	56,75	66,985	59,29	38,97
6	42,00	53,298*	56,75*	62,936*	59,29*	48,72
7	31,00	85,461*	76,17*	163,713*	101,96*	91,89*
8	112,00	74,861	76,17	94,721	101,96	73,51*
9	124,00	74,861	76,17	94,721	101,96	73,51
10	74,00	85,461*	76,17	163,713*	101,96*	91,89*
11	10,00	53,298*	56,75*	62,936*	59,29*	48,72*
12	103,00	53,298	56,75	66,985	59,29	38,97
13	106,00	74,861	76,17	94,721	101,96	73,51
14	59,00	85,461*	76,17*	163,713*	101,96*	91,89*
15	14,00	53,298*	56,75*	62,936*	59,29*	48,72*
16	110,00	53,298	56,75	66,985	59,29	38,97
17	39,00	85,461*	65,48*	107,141*	78,48*	68,13*
18	111,00	74,861*	65,48	80,902	78,48	54,51
19	63,00	82,539	65,48	93,749*	78,48	54,51
20	87,00	82,539	65,48	80,902	78,48	54,51
21	91,00	82,539*	76,17	143,249*	101,96*	73,51
22	67,00	53,298	56,75	63,948	59,29	38,97
23	86,00	82,539	65,48	93,749*	78,48	54,51
24	64,00	82,539*	65,48	80,902*	78,48	54,51
25	80,00	82,539	65,48	93,749*	78,48	54,51
26	70,00	82,539*	65,48	80,902*	78,48	54,51
27	75,00	82,539	65,48	93,749*	78,48	54,51
$\varrho$		51,6	56,4	66,0	51,1	59,8
$\sum(\hat{Q}_u - Q_u)^2$		38830	34732	30925	34100	37070
$\sigma$		38,6	36,5	34,5	36,2	37,8
$k_a = n_a/n$		0,48	0,3	0,59	0,37	0,33

Таблиця 3

Порівняння дослідних та розрахункових значень несучої здатності  
приопорних ділянок звичайних однопрогінних балок при згині з  
позацентровим розтягом (серія III-A)

№п/п	Експериментальні дані М.М. Петрова	СНиП 2.03.01-84*	СНиП 52.101-03	EUROCODE-2	Американські норми АСІ CODE 318-95	Японські норми АСІ CODE, 1988	Канадські норми CSA 23.3-94	Німецькі норми DIN 1045-1.12.1998
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	33,63	30,64	69,88*	74,86*	74,99*	52,28*	70,89*	54,11*
2	63,99	30,64	69,88	74,86	74,99*	60,80	70,89*	54,11
3	54,89	75,81*	69,88*	74,86*	66,27*	60,80	70,89*	54,11
4	85,25	75,81	69,88	74,86	66,27	60,80	70,89	54,11
5	46,09	30,64	69,88*	74,86*	74,99*	60,80*	70,89*	54,11*
6	67,56	75,81*	69,88	74,86*	66,27	60,80	70,89	54,11
7	42,42	54,62*	69,88*	74,86*	70,63*	52,28*	70,89*	54,11*
8	72,80	54,62	69,88	74,86	70,63	60,80	70,89	54,11
9	58,80	54,62	69,88*	74,86*	70,63*	60,80	70,89*	54,11
$\varrho$		32,1	28,9	31,8	32,0	22,5	29,4	30,9
$\sum(\hat{Q}_u - Q_u)^2$		2451	3266	4521	4099	1498	3485	2240
$\sigma$		17,5	20,2	23,8	22,6	13,7	20,9	16,7
$k_a = n_u/n$		0,33	0,56	0,67	0,67	0,33	0,67	0,33



Таблиця 4  
 Позацентрово-розтягнуті однопрогінні балки (серія III-Б, числ. експ.)

№п/п	Числовий експеримент М.М. Петрова	СНип 2.03.01-84*	СНип 52.101-03	EUROCODE-2	Американські норми АСI CODE 318-95	Японські норми АСI CODE, 1988	Канадські норми CSA 23.3-94	Німецькі норми DIN 1045-1.12.1998
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	20,00	49,57*	46,79*	95,47*	95,29*	79,23*	95,36*	78,79*
2	43,00	30,92	82,26*	48,92*	72,72*	55,51*	80,52*	56,59*
3	134,0	128,17	112,62	52,03	66,27	98,36	62,64	53,85
4	48,00	40,84	45,73	48,92	47,26	35,32	47,80	31,64
5	32,00	63,37*	112,62*	52,03*	76,59*	98,36*	62,64*	53,85*
6	14,00	15,64	45,73*	48,92*	54,02*	35,32*	47,80*	31,64*
7	54,00	85,78*	46,79	95,47*	84,97*	79,23*	95,36*	78,79*
8	145,0	89,56	82,26	48,92	65,96	55,51	80,52	56,59
9	75,00	77,22	127,06*	95,47*	95,29*	85,01	95,36*	78,79
10	5,00	23,03*	46,79*	48,92*	72,72*	79,23*	80,52*	56,59*
11	44,00	62,35*	46,42	52,03	66,27*	52,61	62,64*	53,85*
12	122,0	74,32	67,82	48,92	47,26	46,49	47,80	31,64
13	132,0	149,13*	127,06	95,47	84,97	85,01	95,36	78,79
14	51,00	56,08	46,79	48,92	65,96*	79,23*	80,52*	56,59
15	3,00	35,72*	46,42*	52,03*	76,59*	52,61*	62,64*	53,85*
16	65,00	23,53	67,82	48,92	54,02	46,49	47,80	31,64
17	35,00	46,74*	46,59*	74,86*	70,63*	52,28*	70,89*	54,11*
18	104,0	78,24	98,20	74,86	70,63	69,31	70,89	54,11
19	55,00	71,38*	69,88*	91,49*	79,95*	52,28	77,55*	65,21*
20	55,00	33,56	60,07	48,92	59,16	46,80	62,70*	43,01
21	60,00	61,78	70,18*	74,86*	80,81*	71,31*	88,71*	67,69
22	51,00	47,00	58,82	52,03	62,11*	52,56	55,98	42,74
23	28,00	30,64	69,88*	74,86*	74,99*	52,28*	70,89*	54,11*
24	69,00	75,81	69,88	74,86*	66,27	60,80	70,89*	54,11
25	44,00	54,62*	69,88*	74,86*	70,63*	52,28*	70,89*	54,11*
26	66,00	54,62	69,88	74,86	70,63	60,80	70,89*	54,11
27	55,00	54,62	69,88*	74,86*	70,63*	52,28	70,89*	54,11
$\vartheta$		42,6	45,9	55,2	60,7	73,4	58,6	73,8
$\sum(\hat{Q}_u - Q_u)^2$		14070	26789	44461	47756	38259	44810	41428
$\sigma$		23,3	32,1	41,4	42,9	38,4	41,5	39,9
$k_a = n_u/n$		0,37	0,48	0,56	0,63	0,44	0,7	0,44

Таблиця 5

## Позацентрово-стиснуті однопрогінні балки (серія III-B)

№п/п	Експериментальні дані М.І.Шелетюка	СНиП 2.03.01-84*	СНиП 52.101-03	EUROCODE-2	Американські норми АСІ CODE 318-95	Японські норми АСІ CODE, 1988	Канадські норми CSA 23.3-94	Німецькі норми DIN 1045-1.12.1998
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	97,05	82,41	60,69	74,86	81,87	65,35	70,89	67,64
2	149,55	146,84	98,20	74,86	70,83	86,64	70,89	67,64
3	130,63	108,86	98,20	74,86	81,87	86,64	70,89	67,64
4	59,68	63,39	34,29	74,86*	70,83*	72,45*	70,89*	67,64*
5	143,19	165,90*	98,20	74,86	81,87	86,64	70,89	67,64
6	63,74	79,22*	60,69	74,86*	70,83	72,45	70,89	67,64
7	77,99	63,39	34,29	74,86	81,87	65,35	70,89	67,64
8	139,00	108,86	98,20	74,86	70,83	86,64	70,89	67,64
9	162,19	165,90	98,20	74,86	81,87	86,64	70,89	67,64
10	74,24	79,22	60,69	74,86	70,83	65,35	70,89	67,64
11	52,49	63,39*	34,29	74,86*	81,87*	72,45*	70,89*	67,64*
12	122,00	108,86	98,20	74,86	70,83	86,64	70,89	67,64
13	156,30	108,86	98,20	74,86	81,87	86,64	70,89	67,64
14	76,85	63,39	34,29	74,86	70,83	65,35	70,89	67,64
15	64,88	82,41*	60,69	74,86*	81,87*	72,45*	70,89	67,64
16	125,88	146,84*	98,20	74,86	70,83	86,64	70,89	67,64
17	73,91	72,97	46,59	74,86	76,35	65,35	70,89	67,64
18	144,14	137,59	98,20	74,86	76,35	86,64	70,89	67,64
19	103,44	84,04	69,88	74,86	81,87	65,35	70,89	67,64
20	94,21	84,04	69,88	74,86	70,83	76,00	70,89	67,64
21	112,54	84,04	69,88	74,86	76,35	65,35	70,89	67,64
22	91,21	84,04	69,88	74,86	76,35	76,00	70,89	67,64
23	105,99	98,20	71,97	74,86	76,35	65,35	70,89	67,64
24	97,76	69,68	51,43	74,86	76,35	76,00	70,89	67,64
25	103,54	84,04	69,88	74,86	76,35	65,35	70,89	67,64
26	100,21	84,04	69,88	74,86	76,35	76,00	70,89	67,64
27	101,87	84,04	69,88	74,86	76,35	65,35	70,89	67,64
$g$		22,5	53,0	58,2	55,5	60,3	65,6	72,4
$\sum(\hat{Q}_u - Q_u)^2$		9290	35643	49383	46680	40376	56186	62399
$\sigma$		18,9	37,0	43,6	42,4	39,4	46,5	49,0
$k_u = n_u/n$		0,19	0	0,15	0,11	0,11	0,07	0,07

Таблиця 6  
 Позацентрично-стиснуті однопрогінні балки (серія III-Г, числ. експ.)

№п/п	Числовий експеримент М.М. Петрова	СНІП 2.03.01-84*	СНІП 52.101-03	EUROCODE-2	Американські норми АСІ CODE 318-95	Японські норми АСІ CODE, 1988	Канадські норми CSA 23.3-94	Німецькі норми DIN 1045-1.12.1998
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	78,00	71,57	46,79	95,47*	95,29*	79,23	95,36*	85,36*
2	107,02	59,76	82,26	48,92	72,72	55,51	80,52	61,30
3	125,00	133,40	112,62	52,03	66,27	98,36	62,64	58,34
4	47,00	43,37	45,73	48,92	47,26	35,32	47,80	34,28
5	125,00	101,71	112,62	52,03	76,59	98,36	62,64	58,34
6	70,00	28,35	45,73	48,92	54,02	35,32	47,80	34,28
7	55,00	88,53*	46,79	95,47*	84,97*	79,23*	95,36*	85,36*
8	107,02	95,74	82,26	48,92	65,96	55,51	80,52	61,30
9	137,26	120,04	127,06	95,47	95,29	85,01	95,36	85,36
10	44,00	40,04	46,79	48,92	72,72	79,23*	80,52*	61,30*
11	61,00	62,35	46,42	52,03	66,27	52,61	62,64	58,34
12	101,77	79,83	67,82	48,92	47,26	46,49	47,80	34,28
13	137,30	150,42*	127,06	95,47	84,97	85,01	95,36	85,36
14	52,00	59,28	46,79	48,92	65,96*	79,23*	80,52*	61,30*
15	53,00	53,23	46,42	52,03	76,59*	52,61	62,64*	58,34
16	101,77	48,07	67,82	48,92	54,02	46,49	47,80	34,28
17	50,00	58,08	46,59	74,86	70,63*	52,28	70,89*	58,62*
18	133,30	101,48	98,20	74,86	70,63	69,31	70,89	58,62
19	95,00	84,89	69,88	91,49	79,95	52,28	77,55	70,65
20	81,00	49,63	60,07	48,92	59,16	46,80	62,70	46,59
21	89,00	77,34	70,18	74,86	80,81	71,31	88,71	73,33
22	80,00	59,99	58,82	52,03	62,11	52,56	55,98	46,31
23	96,00	58,28	69,88	74,86	74,99	52,28	70,89	58,62
24	85,00	79,19	69,88	74,86	66,27	60,80	70,89	58,62
25	102,00	68,93	69,88	74,86	70,63	52,28	70,89	58,62
26	74,00	68,93	69,88	74,86	70,63	60,80	70,89	58,62
27	89,00	68,93	69,88	74,86	70,63	52,28	70,89	58,62
$g$		35,4	30,0	50,1	47,3	72,1	48,6	70,5
$\sum(\hat{Q}_u - Q_u)^2$		15471	11410	36534	29031	36934	30871	44350
$\sigma$		24,4	20,9	37,5	33,4	37,7	34,5	41,3
$k_g = n_g/n$		0,07	0	0,07	0,19	0,11	0,22	0,19

Таблиця 7

## Нерозрізні двопрогінні балки (серія V)

№п/п	Експериментальні дані О.М. Крантовської	СНиП 2.03.01-84*	СНиП 52.101-03	EUROCODE-2	Американські норми АСІ CODE 318-95	Японські норми АСІ CODE, 1988	Канадські норми CSA 23.3-94	Німецькі норми DIN 1045-1.12.1998
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	94,5	84,60	80,90	96,42	79,36	159,0*	103,07*	96,92
2	134,5	93,10	62,90	43,2	62,72	61,51	90,76	64,42
3	102,9	78,80	77,90	53,3	59,87	77,03	60,92	43,41
4	46,5	39,60	37,40	53,3	43,23	49,6	48,61	37,88
5	182,9	115,80	77,90	53,3	59,87	77,03	60,92	43,41
6	68,1	41,10	37,40	53,3	43,23	49,6	48,61	37,88
7	46,5	71,70*	80,90*	96,42*	79,36*	159,0*	103,07*	96,92*
8	80,9	81,30	62,90	43,2	62,72	61,506	90,76*	64,42
9	127,9	146,00*	92,70	84,31	79,36	100,09	103,07	77,54
10	64,3	58,20	61,00	49,41	62,72	159,0*	90,76*	80,53*
11	69,5	42,10	52,30	53,3	59,87	65,41	60,92	54,27
12	116,7	71,40	48,20	53,3	43,23	45,49	48,61	30,3
13	161,7	88,70	92,70	84,31	79,36	100,09	103,07	77,54
14	54,3	58,20	61,10	49,41	62,72*	159,0*	90,76*	80,53*
15	67,5	54,40	52,30	53,3	59,87	65,41	60,92	54,27
16	94,7	76,10	48,20	53,3	43,23	45,49	48,61	30,3
17	63,9	63,50	58,80	75,61*	61,28	104,8*	74,59*	65,49
18	125,3	107,30	70,70	66,11	61,28	73,56	74,59	52,39
19	91,2	71,60	65,80	93,08	68,75	86,93	80,11	58,95
20	67,0	59,20	49,60	47,69	52,11	61,37	67,8	45,83
21	80,1	80,00	72,30	72,99	71,90	131,8*	97,55*	70,98
22	78,1	50,30	45,30	53,3	52,41	58,10	55,4	36,86
23	88,8	75,90	58,80	72,99	61,28	86,93	74,59	52,39
24	69,4	56,20	58,80	72,99	61,28	74,59*	74,59	52,39
25	94,8	69,30	58,80	72,99	61,28	86,93	74,59	52,39
26	63,4	69,30	58,80	72,99	61,28	74,59*	74,59*	52,39
27	79,1	69,30	58,80	72,99	61,28	86,93*	74,59	52,39
$g$		27,3	43,3	61,1	71,3	61,6	52,4	97,0
$\sum(\hat{q}_u - q_u)^2$		20000	40766	51661	49643	74498	39682	67143
$\sigma$		27,7	39,6	44,6	43,7	53,5	39,1	50,8
$k_a = n_a/n$		0,07	0,04	0,07	0,07	0,33	0,3	0,11

Таблиця 8

## Попередньо напружені таврові залізобетонні балки (серія IV)

№ дослідів	Експериментальні дані Ф.Р. Карп'юка	Американські ACI CODE	СНП 2.03.01-84*	СНП 52.101-03	Японські АІУ CODE, 1988	Канадські CSA 23.3-94	Німецькі DIN-1045-1.1231998	Європейські Eurocode-2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	85,5	66,21	86,65	68,77	65,68	88,14	64,54	65,86
2	93,0	66,21	88,24	100,9	125,5*	88,14	64,54	65,86
3	76,0	47,28	79,93	100,9*	119,8*	48,92	32,80	24,53
4	64,0	47,28	44,68	40,22	48,80	48,92	32,80	24,53
5	93,2	46,87	88,24	101,0	126*	48,07	32,11	23,63
6	80,3	46,87	86,65	68,77	65,69	48,07	32,11	23,63
7	69,3	67,36	51,84	40,22	48,80	90,5*	66,46	68,37
8	76,8	67,36	79,93	100,9*	119,8*	90,51	66,46	68,37
9	95,0	66,21	88,24	100,9	125,5*	88,14	64,54	65,86
10	81,0	66,21	98,2*	67,15	65,68	88,14	64,54	65,86
11	64,0	47,28	51,84	40,22	48,80	48,92	32,80	24,53
12	73,0	47,28	79,93	100,9*	119,8*	48,92	32,80	24,53
13	78,3	67,36	79,93	100,9*	119,8*	90,51	66,46	68,37
14	64,8	67,36	50,05	40,22	48,80	90,5*	66,46	68,37
15	88,8	46,87	98,2*	66,19	65,68	48,07	32,11	23,63
16	89,8	46,87	88,24	66,19	125,5*	48,07	32,11	23,63
17	80,0	55,80	81,82	64,27	56,54	66,57	47,08	43,13
18	83,0	55,80	83,60	100,9*	122,4*	66,57	47,08	43,13
19	81,0	55,80	83,55	52,94	70,07	66,57	47,08	43,13
20	81,0	55,80	83,55	52,94	70,07	66,57	47,08	43,13
21	82,0	66,97	97,1*	52,94	70,07	89,72	65,82	67,53
22	80,0	47,15	66,59	52,94	70,07	48,64	32,57	24,23
23	90,0	55,31	83,55	68,14	76,17	65,56	46,27	42,07
24	70,0	56,04	66,59	40,12	64,91	67,07	47,49	43,66
25	82,0	55,80	83,55	52,94	64,83	66,57	47,08	43,13
26	80,0	55,80	80,66	52,94	64,83	66,57	47,08	43,13
27	81,0	55,80	94,6*	52,94	64,83	66,57	47,08	43,13
$\rho$		47,3	8,5	39,3	19,5	32,1	76,1	94,5
$\sum (\hat{Q}_u - Q_u)^2$		18101	1693	11266	4155	11845	33351	43222
$\sigma$		26,4	8,1	20,8	12,6	21,3	35,8	40,8
$k_a = n_a/n$		0	0,15	0,19	0,33	0,07	0	0

Аналіз отриманих результатів показує, що ще діючі в Україні СНиП 2.03.01-84\* та нові російські норми мають найкращу (в межах 20...23%) збіжність розрахункових та дослідних даних несучої здатності приопорних ділянок звичайних однопрогінних балок (табл.1) тому, що вони краще від інших зарубіжних норм відображають фізичну картину роботи дослідних елементів під навантаженням. Проте, розрахункові формули СНиП 2.03.01 – 84\* мають найменшу надійність. Коефіцієнт аварійної в них  $k_a = 0,52$ , тобто в 52% дослідних балок розрахункова несуча здатність перевищує фактичну більше, ніж на 10%. Кращий коефіцієнт мають нові російські ( $k_a = 0,04$ ), японські ( $k_a = 0,15$ ) і німецькі ( $k_a = 0,22$ ) норми. Європейські, американські та канадські норми показують  $k_a = 0,30...0,33$  для вказаного типу прогінних елементів.

Збіжність розрахункових та фактичних значень несучої здатності приопорних ділянок балок при згині з крученням за вказаними нормами (табл.2) знаходиться у межах (51...66%). Якщо американські, канадські та німецькі норми показують коефіцієнт аварійності в межах 0,30...0,37, то у загальноєвропейських та канадських нормах цей коефіцієнт становить 0,48...0,59.

Кращу збіжність розрахункових і дослідних даних (в межах 22...32%) показують всі зарубіжні норми для позацентрово-розтягнутих елементів (табл. 3). При цьому, коефіцієнт аварійності  $k_a = 0,33$  мають старі вітчизняні норми СНиП 2.03.01-84\*, японські та німецькі стандарти. Нові російські, європейські, американські та канадські норми показують цей коефіцієнт у межах 0,56...0,67.

Найкращу збіжність (22%) розрахункових і дослідних даних міцності приопорних ділянок позацентрово-стиснутих балок (табл.5) показують ще діючі СНиП 2.03.01-84\* при збіжності результатів за іншими нормами в межах 53...72%. Нові російські норми для цього класу прогінних елементів показують  $k_a = 0$ , тобто є найбільш надійними. У всіх інших нормах, що розглядаються, коефіцієнт аварійності є невеликим і коливається у межах 0,07...0,19.

Аналогічні результати одержані для позацентрово-стиснутих балок меншою поздовжньою силою (табл.6).

Несуча здатність приопорних нерозрізних залізобетонних балок відносно задовільно ( $v = 27\%$ ) може бути визначена за старими СНиП 2.03.01-84\* в той час, як інші норми показують коефіцієнт варіації  $v = 43...97\%$  при досить низькому коефіцієнті аварійності  $k_a = 0,07...0,11$ . Тільки Японські і Канадські норми показують  $k_a = 0,3$  для даного типу балок.

Розрахунок несучої здатності попередньо напружених таврових залізобетонних балок за старими СНиП 2.03.01-84\* і Японськими нормами показав, в цілому, задовільну їхню збіжність з дослідними даними. Відповідні коефіцієнти варіації  $v = 8,5$  і  $19,5\%$ . Інші національні норми

показують більшу розбіжність ( $v=32...95\%$ ). При цьому, нульові коефіцієнти аварійності для вказаного типу конструкцій мають американські, німецькі та європейські норми. Відносно великий  $k_a=0,33$  показали Японські норми.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз результатів порівняння дослідних і розрахункових значень несучої здатності приопорних ділянок різних типів прогінних конструкцій, обчислених за рекомендаціями національних норм проектування \*\* економічно розвинених країн світу, з одного боку, показав, в цілому, незадовільну їхню збіжність, а, з другого боку, недостатню надійність розрахункових формул цих норм, оскільки для великої кількості дослідних зразків (особливо з великими прольотами зрізу) розрахункова міцність при опорних ділянках на 10% і більше перевищує їхню несучу здатність, що загрожує створенням аварійних ситуацій і передчасним руйнуванням прогінних конструкцій.

2. Різноманітність складного напружено-деформованого стану та форм руйнування унеможливує створення простої і, в той же час, універсальної розрахункової моделі приопорних ділянок для різних типів конструкцій, яка адекватно відображала б вплив як конструктивних чинників, так і факторів зовнішнього впливу на їхню несучу здатність. Спрощені розрахункові моделі вимагають застосування емпіричного підходу.

3. Практика показала, що чисельні методи розрахунку конструкцій, які спираються на загальну механіку залізобетону з тріщинами, носять універсальний характер, дозволяють моделювати любий напружено-деформований стан та простежити за усіма етапами роботи конструкції, включаючи її руйнування.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Тур В.В. Расчет железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил: монография / В.В. Тур, А.А. Кондратчик. – Брест: Изд-во БГТУ, 2000. – 400 с.: ил.

2. Ritter W. Die Bauweise Hennebigue. Schweizerische Bauzeitung (Zürich), Feb., 1899.

---

Примітка \*\*: Деяка похибка результатів розрахунків можлива у зв'язку з використанням призової і кубикової міцності бетону, а не міцності відповідних циліндрів, даних міцності (у нас границі текучості) арматури тощо.

3. Mörsh E. Der Eisenbetonbau, 1<sup>st</sup> Ed., Wayssand Freytag, A.G. Neustadt, a.d. Haardt, May 1902, 118p.p.; 2<sup>nd</sup> Ed., Verlag von Konrad Wittmer, Stuttgart, 1906, 252 p.p.; 3<sup>rd</sup> Ed. (Reinforced Concrete Construction, transl.E.P. Goodrich), Mc. Graw Hill Book Co., New York, 1909. – 388 pp.
4. ACI (American Concrete Institute) (1995): "ACI Building Code Requirements for Reinforced Concrete". ACI 318-95 and Commentary (318-95R), American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 369 pp.
5. DIN 1045-1 (Entwurf) Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion / [1] / S. 513-614.
6. EN 1992 – 1 : 2001 (Final Draft, April, 2002) EUROCODE – 2: Design of Concrete Structures – Part 1: General Rules and Rules for Building. – Final Draft. December, 2004. – 230 p.
7. Aoyama, H. (1992): "Design Philosophy for Shear in Earthquake Resistance in Japan". Symp. on Concrete Shear in Earthquake, Houston, pp. 407 – 418.
8. Collins, M.P. Mitchell, D. Adebare, P. and Vecchio, F. J. (1996): "General Shear Design Method" ACI St. J, V. 93, no. 1, Jan. – Feb., 1996, pp. 36-45.
9. Randan B.V. Web Crushing of Reinforced and Prestressed Concrete Beams / ACI Struct. Journ., V. 88, №1, Jan.-Feb., 1991. – pp. 12-16.
10. Hsu T.T.C., Mau S.T.C., Mau S.T., Bin Chen. Theory of Shear Transfer of Reinforced Concrete/ ACI Struct. Journ., March-April, 1987. – PP. 149-160.
11. СНиП 52-101-2003 "Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры". – М. : ГУП "НИИЖБ" Госстроя России, 2004. – 55 с.
12. СНиП 52-102-2004 "Предварительно напряженные железобетонные конструкции". – М.: ГУП "НИИЖБ" Госстроя России, 2004. – 49 с.
13. Vecchio, F.J and Collins, M.P. (1986): "The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear". ACU. V.83, no. 2, March-April 1986. – pp. 219-231.
14. Norwegian Council for Building Standardization (1992): Norwegian Standard NS 3473 E, 4<sup>th</sup> ed., Nov. 1992.
15. CSA (Canadian Standards Association) (1994): "Design of Concrete Structures". CSA A 23. 3-94. Dec. 1994. – 200 pp.
16. Залесов А.С. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил / А.С. Залесов, Ю.А.Климов. – Киев: Будівельник, 1989. – 105с.
17. Давиденко А.И. К расчету прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента с использованием полной диаграммы деформирования бетона/ А.И. Давиденко, А.М. Бамбура, С.Ю. Беляева, Н.Н. Присяжнюк // 36. наук. праць фіз-мех. ін-ту ім. Г.В. Карпенка НАН України "Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій". – Львів: Каменяр, 2007. – Вип. 7. – С. 209-216.
18. Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в механике железобетона/ С.Ф. Клованич, И.Н. Мироненко. – Одесса: Изд-во. ОНМУ, 2007. – 110 с.