

**УДК.624.02.44**

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО–ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ  
МІЦНОСТІ ТА ГРАНИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ БЕТОНУ  
ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ  
ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ ЗНАКОЗМІННИХ  
НАВАНТАЖЕНЬ**

**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY STRENGTH  
AND ULTIMATE STRAIN NONCENTRAL PRESSED  
REINFORCED CONCRETE ELEMENTS UNDER LOWCYCLE  
ALTERNATING LOADS**

**Масюк Г.Х. к.т.н., проф., Алексієвець І.І. к.т.н., доц.,  
Войтович О.В. студент (Національний університет водного  
господарства та природокористування, м. Рівне)**

**Masuk G.H. candidate of technical sciences, professor, Alekseevets I.I.  
candidate of technical sciences, associate professor, Vojtovich O.V. student  
(National university of water management and nature resources use, Rivne)**

Наведено результати експериментальних досліджень роботи позацентрово стиснутих залізобетонних елементів за дії малоциклових знакозмінних навантажень. Виявлено вплив вище вказаних навантажень на граничну деформацію бетону найбільш стиснутої грані та несучу здатність позацентрово стиснутих елементів. Виконано порівняльний аналіз експериментальних даних з теоретичними розрахунками на основі деформаційної моделі.

The results of experimental studies of noncentral pressed reinforced concrete elements for action lowcycle alternating loads. The influence of these higher loads on the maximum deformation of compressed concrete most facets and noncentral carrying capacity of compressed elements. A comparative analysis of experimental data with theoretical calculations based on deformation model.

**Ключові слова:** позацентровий стиск, знакозмінні навантаження, гранична деформація, несуча здатність.

**Keywords:** noncentral compression, alternating load, maximum strain, load-bearing capacity.

**Вступ.** Значна кількість позацентрово стиснутих залізобетонних елементів в процесі експлуатації випробовують дію знакозмінних циклових навантажень. Такі навантаження спричиняють особливі умови роботи залізобетонних елементів, викликаючи зміни міцнісних та деформативних характеристик бетону, впливаючи на процеси тріщини утворення та на їх несучу здатність. До позацентрово стиснутих елементів, що випробовують дію малоциклових знакозмінних навантажень відносяться колони одноповерхових виробничих будівель, колони багатопверхових будівель, елементи підпірних стін, стійки транспортних естакад, стійки без розкісних ферм, окремі елементи різноманітних спеціальних споруд і інші. В діючих нормативних документах відсутні рекомендації для розрахунку позацентрово стиснутих елементів, що зазнають дії малоциклових знакозмінних навантажень.

**Аналіз останніх джерел, постановка мети і задач досліджень.** Досить велика кількість вчених, як вітчизняних так і зарубіжних, проводили дослідження роботи позацентрово стиснутих елементів за різних режимів завантажень, їх характеру, різних класів бетону, різного значення ексцентриситетів, тощо.

Що стосується досліджень роботи позацентрово стиснутих елементів, на які діють знакозмінні малоциклові навантаження, то такі дослідження практично відсутні. Тому експериментальне дослідження граничних характеристик стиснутої зони бетону, деформативності та несучої здатності залізобетонних позацентрово стиснутих елементів за дії малоциклових знакозмінних навантажень є задачею актуальною.

Теоретичні дослідження характеристик стиснутої зони бетону та міцності бетонних елементів були проведені на основі деформаційної моделі з екстремальним критерієм міцності [1...5], але при інших режимах навантажень.

Метою роботи є експериментальне дослідження впливу малоциклових знакозмінних навантажень на граничні деформації і міцність бетону стиснутої зони і несучу здатність позацентрово стиснутих елементів.

**Методика досліджень.** У процесі проведення експериментальних досліджень залізобетонних колон деформації бетону і арматури в характерних перерізах замірялись на всьому діапазоні навантаження. Особлива увага приділялась визначенню

граничних деформацій бетону та арматури при руйнуванні граничних деформацій бетону та арматури при руйнуванні залізобетонних елементів в кінці випробувань.

Для виконання поставленої мети було випробувано 14 колон із різними режимами завантажень. Розподіл експериментальних зразків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Номенклатура та режим завантаження

Марка	К-ть, шт.	Рівень навантаження, $\eta$	Розміри $l \times b \times h$ , см	Поздовжня арматура	Поперечна арматура		
					вид	діаметр	крок $s_{cr}$ , мм
1-ша серія							
1К-1	1	1,0	300x16x10	4Ø12 А400С	хомути	Ø5 Вр-І	150
1КЗН-2	2	0,3-0,6					
1КЗН-3	2	0,3-0,6 0,3-0,8 (5 шмт.)					
1КЗН-4	2	0,3-0,6 (1-5 шмт.) 0,3-0,8 (6-10 шмт.)					
2-га серія							
2К-1	1	1,0	300x16x10	4Ø12 А400С	хомути	Ø5 Вр-І	150
2КЗН-2	1	0-0,65					
2КЗН-3	1	0-0,85					
2КЗН-4	2	0-0,65 (а) 0-0,85 (б)					
2КЗН-5	2	0-0,1 ... 0-1,0					

Зразки першої серії виготовлялись із бетону класу С16/20, а другої – С20/25. Поздовжні сили прикладались із знакозмінними ексцентриситетами  $e_N = 10$  см.

**Результати досліджень.** Результати деформувань експериментальних випробувань дослідних зразків при різних режимах завантажень показані на графіках залежностей деформацій бетону від рівня навантажень по циклах рис 1... рис. 4 першої серії і рис. 5...рис.9 другої серії.

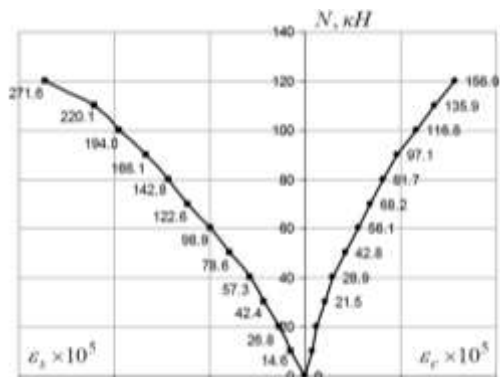


Рис. 1. Графіки деформування найбільш напруженого шару бетону та розтягнутої арматури в колоні 1К-1

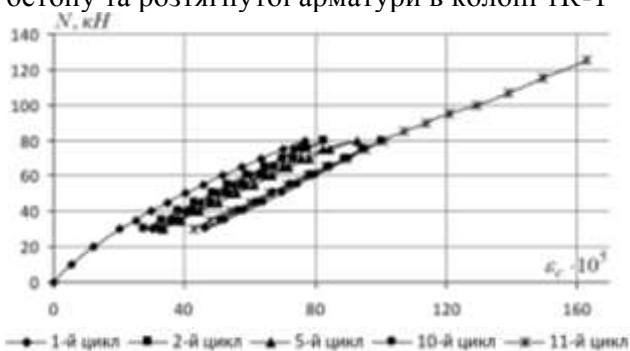


Рис. 2. Розвиток деформацій стиснутого бетону колон марки 1К3Н-2 протягом десяти циклів

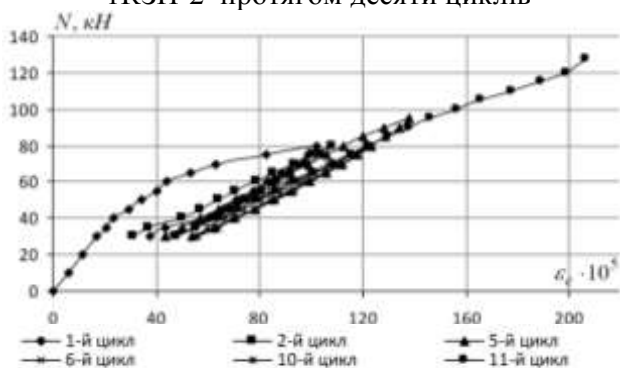


Рис. 3. Розвиток деформацій стиснутого бетону колон марки 1К3Н-3 протягом десяти циклів

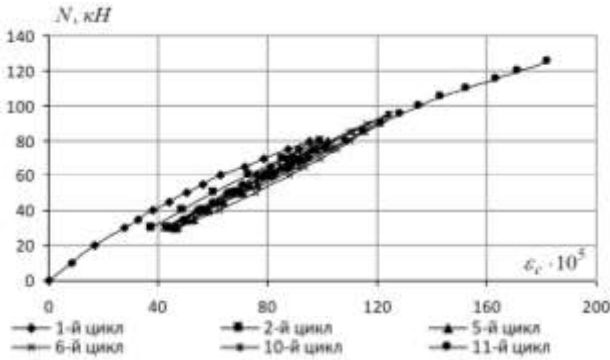


Рис. 4. Розвиток деформацій стиснутого бетону колон марки 1КЗН-4 протягом десяти циклів

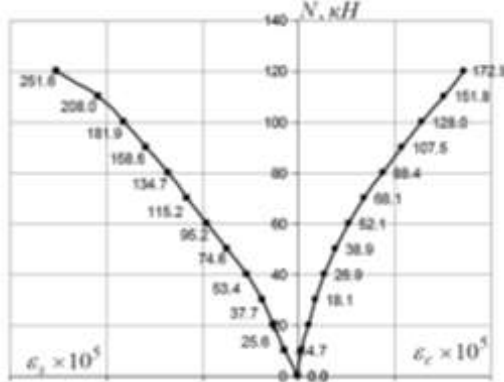


Рис. 5. Графіки деформування найбільш напруженого шару бетону та розтягнутої арматури в колоні 2К-1

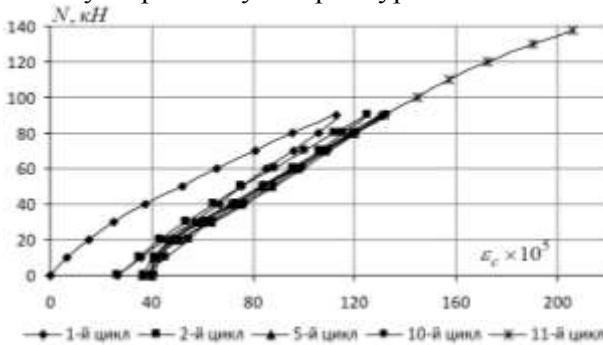


Рис. 6. Розвиток деформацій стиснутого бетону колон марки 2КЗН-2 протягом десяти циклів

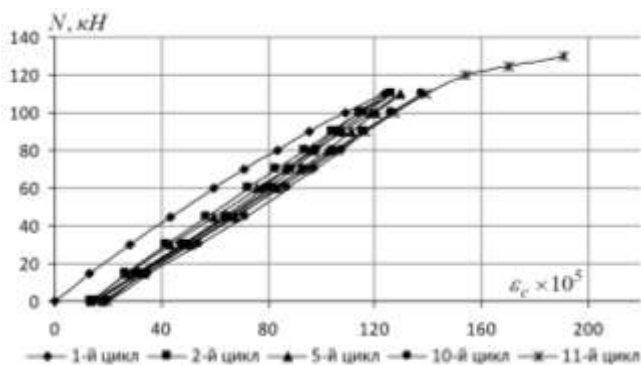


Рис. 7. Розвиток деформацій стиснутого бетону колон марки 2КЗН-3 протягом десяти циклів

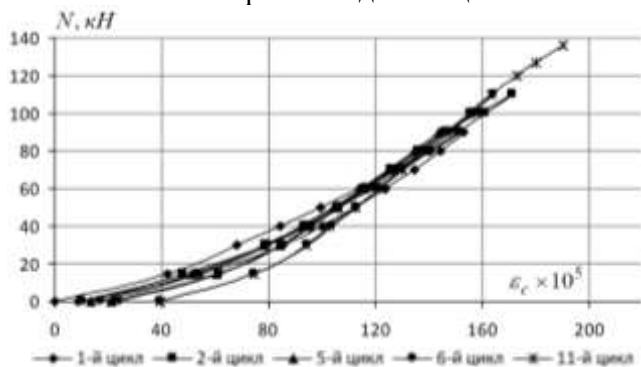


Рис. 8. Розвиток деформацій стиснутого бетону колон марки 2КЗН-4 протягом десяти циклів

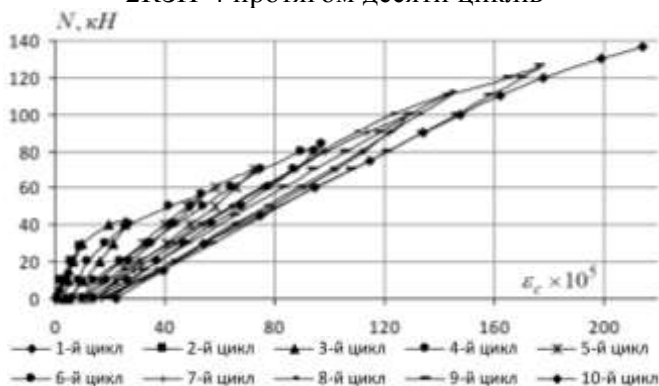


Рис. 9. Розвиток деформацій стиснутого бетону колон марки 2КЗН-5 протягом десяти циклів

Значення величин відносних деформацій бетону в найбільш стиснутих волокнах та арматурі в розтягнутій зоні за дії циклічних навантажень експериментальних зразків по циклах наведені в таблицях (табл.2... табл.4) першої серії і (табл. 5...табл.8) другої серії.

Таблиця 2

Відносні деформації бетону та арматури колон марки 1КЗН-2

$\eta$	Цикли навантажень										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Відносні деформації бетону $\varepsilon_c \cdot 10^3$										
0,3	30,24	31,35	31,53	33,19	35,25	37,02	38,63	40,42	43,65	46,45	-
0,6	76,73	82,68	84,08	89,76	92,63	95,42	98,18	99,36	99,72	100,18	100,9
	Відносні деформації арматури $\varepsilon_s \cdot 10^3$										
0,3	68,5	69,52	69,9	70,04	70,54	71,96	73,98	76,65	77,79	78,09	-
0,6	118,41	122,37	125,62	128,04	130,15	131,87	133,57	134,97	136,45	137,80	138,0

Таблиця 3

Відносні деформації бетону та арматури колон марки 1КЗН-3

$\eta$	Цикли навантажень										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Відносні деформації бетону $\varepsilon_c \cdot 10^3$										
0,3	46,74	47,93	48,93	49,44	53,60	54,97	55,50	56,08	56,12	56,05	-
0,6	102,0	108,35	109,78	112,08	-	121,07	121,33	122,77	123,09	123,18	122,22
0,8	-	-	-	-	137,76	-	-	-	-	-	138,50
	Відносні деформації арматури $\varepsilon_s \cdot 10^3$										
0,3	48,13	48,25	49,78	51,11	55,37	56,49	58,48	60,80	60,74	60,81	-
0,6	92,46	98,29	100,34	103,62	-	113,34	114,75	115,66	117,05	118,50	117,99
0,8	-	-	-	-	126,68	-	-	-	-	-	138,5

Таблиця 4  
Відносні деформації бетону та арматури колон марки ІКЗН-4

η	Цикли навантажень										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Відносні деформації бетону $\varepsilon_c \cdot 10^3$											
0,3	43,51	43,58	45,18	45,65	46,18	47,58	47,92	48,39	48,88	49,02	-
0,6	95,45	99,07	99,46	101,15	101,71	-	-	-	-	-	108,78
0,8	-	-	-	-	-	124,66	126,38	127,15	127,74	128,21	128,38
Відносні деформації арматури $\varepsilon_s \cdot 10^3$											
0,3	50,71	52,48	52,67	53,34	53,54	54,83	55,17	55,67	55,88	55,94	-
0,6	94,34	100,42	101,70	102,75	103,42	-	-	-	-	-	109,89
0,8	-	-	-	-	-	122,14	125,28	125,07	125,43	126,02	126,45

Таблиця 5  
Відносні деформації бетону та арматури колон марки 2КЗН-2

η	Цикли навантажень										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Відносні деформації бетону $\varepsilon_c \cdot 10^3$											
0	20,2	36,8	37,7	39,5	39,9	40,3	40,8	40,7	41,0	41,1	-
0,65	112,8	125,2	126,0	129,1	130,1	131,2	131,7	132,0	132,3	132,6	131,5
Відносні деформації арматури $\varepsilon_s \cdot 10^3$											
0	17,6	17,8	18,7	20,2	20,2	24,1	24,5	25,9	26,6	26,9	-
0,65	108,0	111,7	112,5	116,2	118,1	121,7	122,4	124,5	125,0	125,2	126,5

Таблиця 6  
Відносні деформації бетону та арматури колон марки 2КЗН-3

η	Цикли навантажень										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Відносні деформації бетону $\varepsilon_c \cdot 10^3$											
0	14,2	15,2	15,9	16,6	17,7	18,2	18,4	19,1	20,0	20,6	-
0,85	123,6	126,0	129,7	130,3	130,7	131,2	134,3	135,5	136,8	137,9	139,0
Відносні деформації арматури $\varepsilon_s \cdot 10^3$											
0	30,5	30,2	26,5	26,7	26,4	27,9	27,8	26,5	27,2	27,3	-
0,85	139,8	140,8	146,6	148,2	144,5	145,8	151,0	152,3	153,1	153,6	154,8



Таблиця 7

Відносні деформації бетону в найбільш стиснутих волокнах та арматури в розтягнутій зоні за дії циклічних навантажень колон марки 2КЗН-4

η	Цикли навантажень										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Відносні деформації бетону $\varepsilon_c \cdot 10^3$											
0	8,4	10,2	12,8	15,4	16,1	17,2	17,3	19,3	21,4	21,3	-
0,65	153,1	-	146,5	-	143,7	-	143,6	-	145,7	-	146,5
0,85	-	171,2	-	164,4	-	164,6	-	164,4	-	163,4	-
Відносні деформації арматури $\varepsilon_s \cdot 10^3$											
0	14,6	16,1	14,4	15,0	15,5	15,8	14,7	15,2	16,0	16,5	-
0,65	93,7	-	104,3	-	108,8	-	109,6	-	111,7	-	111,5
0,85	-	126,5	-	130,9	-	134,4	-	134,8	-	136,6	-

Таблиця 8

Відносні деформації бетону в найбільш стиснутих волокнах та арматури в розтягнутій зоні за дії циклічних навантажень колон марки 2КЗН-5

η	Цикли навантажень										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Відносні деформації бетону $\varepsilon_c \cdot 10^3$											
0	0,3	2,6	4,8	10,0	12,3	14,0	16,7	17,0	17,7	18,3	-
η <sub>к</sub>	4,6	9,0	25,5	53,3	72,2	97,5	127,2	144,2	177,0	181,0	-
Відносні деформації арматури $\varepsilon_s \cdot 10^3$											
0	0,6	3,8	7,1	11,8	13,7	16,3	18,3	20,2	20,3	20,6	-
η <sub>к</sub>	4,5	13,2	26,1	43,2	62,5	81,6	103,6	126,1	153,6	158,4	-

Результати порівняння теоретичних значень за методикою деформаційної моделі з екстремальним критерієм міцності і експериментальних даних граничних деформацій стиснутої зони бетону та міцності нормальних перерізів залізобетонних елементів зі статистичною обробкою наведені в табл. 9 і табл. 10.

Таблиця 9

Експериментальні і теоретичні значення максимальних деформацій найбільш стиснутої зони бетону експериментальних зразків в стадії близької до руйнування

№ з/п	Шифр зразків	Максимальна відносна деформація найбільш стиснутої грані бетону		Δε %
		ε	ε	
1	1К-1	0,001560	0,001501	0,962
2	1КЗН-2	0,001009	0,000924	0,916
3	1КЗН-3	0,001385	0,001251	0,903
4	1КЗН-4	0,001821	0,001661	0,912
5	2К-1	0,001729	0,001617	0,935
6	2КЗН-2	0,002062	0,001654	0,802
7	2КЗН-3	0,001900	0,001457	0,767
8	2КЗН-4	0,001900	0,0016948	0,892
9	2КЗН-5	0,0021614	0,001614	0,754
Середнє арифметичне				0,871
Середнє квадратичне				
Середнє квадратичне відхилення				
Коефіцієнт варіації				

Таблиця 10

Порівняння теоретичних значень поздовжньої сили з експериментальними

Марка колоди	Дослідні значення $N_{exp}$ , кН	Значення поздовжньої сили $N$ , кН, при використанні методик					
		$N_{dbr}$ , кН	$k = N_n / N_{exp}$	$N$ , кН дін. в.2.6-98:2000	$k = N / N_{exp}$	$N_{dbr}$ , кН СНБП 2.03.01-84	$k = N_{dbr} / N_{exp}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1К-1	120	105,3	0,88	138,8	1,16	109,4	0,91
1КЗН-2	125	114,5	0,92		1,11		0,88
1КЗН-3	128	114,7	0,90		1,08		0,85
1КЗН-4	125	107,8	0,86		1,29		0,88
2К-1	125	108,2	0,87	162,8	1,30	121,5	0,97
2КЗН-2	138	122,5	0,89		1,18		0,88
2КЗН-3	130	113,9	0,88		1,25		0,93
2КЗН-4	136	114,0	0,84		1,20		0,89
2КЗН-5	137	126,2	0,92		1,19		0,89

Методика визначення теоретичних значень максимальних деформацій бетону найбільш стиснутого волокна перед руйнуванням експериментальних зразків і їх несучої здатності наведені в [6].

**Висновки.** Проведені експериментальні дослідження дають можливість зробити висновок про достовірність деформаційної моделі, яка дозволяє аналізувати повний комплекс граничних параметрів нормальних перерізів у стадії їх руйнування, виявляти пружний або пластичний стан роботи арматури та використовувати відповідні розрахункові залежності.

В процесі експериментальних досліджень, виявлено і встановлено, що малоциклові знакозмінні навантаження суттєво впливають на граничні характеристики нормального перерізу позацентрово стиснутого елемента і на його несучу здатність.

**1.** Митрофанов В.П. О влиянии формы нормального сечения на предельную деформацию бетона сжатой зоны. / В.П. Митрофанов, А.А. Шкурупий, Д.Н. Лазарев, Б.П. Митрофанов / Збірник наукових праць. Серія «Галузеве машинобудування, будівництво». – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – Вип. 15. – С. 89–94. **2.** Шкурупій О.А. Вплив форми перерізу на граничні характеристики стиснутої зони бетону позацентрово стиснутих залізобетонних елементів / О.А. Шкурупій, Д.М. Лазарев/ Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2007. – Вип. 15. – С. 286–297. **3.** Бамбура А.Н. Развитие методов оценки напряженно-деформируемого состояния и несущей способности железобетонных конструкций на основе реальных диаграмм деформирования материалов / Научно-практические проблемы современного железобетона: Первая всеукраинская научно-техническая конференция. Сб. тезисов. – Київ: НИИСК, 1996. – С. 36–39. **4.** Туркалов Б.Ф. К вопросу о расчете стержневых железобетонных элементов с учетом полных диаграмм деформирования материалов / Б.Ф. Туркалов, Б.К. Твинг / Журнал Бетон и железобетон. – Київ 2004. – Вип. 5. – С. 23–27. **5.** Ромашко В.М. Деякі особливості діаграми стану бетону / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2004. – Вип. 3. – С. 294–301. **6.** Алексієвець І.І. Несуча здатність, деформативність та тріщиностійкість позацентрово стиснутих залізобетонних елементів при дії малоциклових знакозмінних навантажень / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.23.01. – Рівне: НУВГП, 2014. – 141с.