

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ЗУСИЛЬ У ДВОХПРОЛІТНИХ
НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛКАХ ЗА ДІЇ
МАЛОЦИКЛОВИХ ПОВТОРНИХ І ЗНАКОЗМІННИХ
НАВАНТАЖЕНЬ**

**EXPERIMENTAL REEMERGENCE OF THE BEAMS IN
TWO SPILT, NON-SURFACE CONCRETE BEAMS FOR THEIR
LOW-CYCLE REPETITIVE AND FAMILIAR DRESSING**

Масюк Г.Х., к.т.н., проф., Ющук О.В., аспірант, Федюк М.А., студент (Національний університет водного господарства та природокористування), м. Рівне

Masyuk G.Kh., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Yushchuk O.V., postgraduate student, Fedyuk MA, student (National university of water management and nature resources use), Rivne

У статті наведені результати випробувань двохпролітних нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень, в яких виявлені особливості зміни опорного і прольотних, згинальних моментів та деформацій бетону і арматури. Встановлено, що процес зміни вказаних величин стабілізується на 5...6 циклах навантаження за дії малоциклових повторних навантажень, про що не можна сказати за процес зміни за дії малоциклових знакозмінних навантажень.

In the article the results of tests of two-pass non-separable reinforced concrete beams under the influence of low cycle repetitive and sign-loaded loads, in which features of the change of the stress-strain state, changes of reference and spin bending moments and deformations of concrete and reinforcement in the process of loads are revealed in comparison with one-time static load. According to the results of experimental research of indecomposable reinforced concrete beams, the mechanism of deformation, the nature of the formation of cracks, their further development, as well as the redistribution of forces in the sections of beams from the beginning of loading to destruction, are also established. In the course of low-cycle repetitive loads, the process of changing these values stabilizes by 5-6 cycles. With regard to the deformation of indistinguishable beams for the effect of low-cycle shift

loads and changes above the specified parameters, then there is a completely different picture. Analyzing the stress-strain state of beams at such loads, it should be noted that there is no clear stabilization above the above parameters. All this can be explained by changing the stiffness of the sections from the cycle to the cycle of alternating loads, as much as the cracks cross-section beams cut almost completely, dividing the beam into separate blocks. And from the cycle to the cycle, the number of cracks and their width of opening are increased, thereby reducing stiffness and increasing the curvature. All of the above has a significant effect on the nature of the redistribution of effort, that is, the reference and span moments. But when the limiting strains in the reinforcement on the support in the span are reached, the bending moments before the destruction are almost identical. Only, it should be noted that their values vary, depending on the nature and modes of loading, that is, the load bearing capacity is different, how much force at which the beams were destroyed different, as shown in Tables 2 and 3, where the forces at which the beams were destroyed by the actions of low cycle repeated loads $F_u = 11,1$ kN, and for the effects of low-cycle interchangeable loads $F_u = 7.81$ kN. At the same time, the beams loaded with a one-time static load collapsed at a force of $F_u = 12.8$ kN.

Ключові слова: залізобетонні двопролітні балки, мало циклові повторні і знакозмінні навантаження, перерозподіл зусиль, згинальні моменти

Keywords: reinforced concrete birefringing beams, small cyclic repeated and sign-loaded loads, redistribution of forces, bending moments

Вступ. Використання залізобетонних нерозрізних балок набуло досить широкого значення при зведенні будівель та споруд різного призначення. Нерозрізні балки монолітних перекриттів промислових і громадських будівель, перекриттів підземних резервуарів, перекриттів багатоповерхових паркінгів для автомобілів випробовують в процесі експлуатації малоциклові повторні і знакозмінні навантаження різної інтенсивності. Робота і зміна напружено-деформованого стану таких балок вивчена недостатньо. Слід відзначити, що існуюча методика розрахунку нерозрізних балок не враховує дії вище вказаних навантажень і їх впливу на несучу здатність і перерозподіл зусиль в перерізах.

Виходячи з цього, питання експериментальних досліджень особливостей роботи нерозрізних залізобетонних конструкцій за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За пів столітній термін дослідження напружено-деформованого стану і роботи залізобетонних статично-невизначених конструкцій, значна кількість науковців досліджували такі конструкції, але в основному при однозначних статичних навантаженнях. Це висвітлено в роботах [1...6]. Що стосується дослідження роботи нерозрізних балок за дії малоциклових повторних навантажень відображено в роботах [7...11]. У вище названих працях досліджувались різні параметри роботи і напружено-деформованого стану нерозрізних залізобетонних балок: несучу здатність, міцність перерізів, деформативність і тріщиностійкість, прогини і ширину розкриття тріщин, перерозподіл зусиль і ін..

Дослідження ж роботи нерозрізних залізобетонних балок за дії малоциклових знакозмінних навантажень практично відсутні.

Мета і задачі досліджень. На основі експериментальних досліджень проаналізувати перерозподіл зусиль в нерозрізних залізобетонних балках за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень.

Методика досліджень. У лабораторії кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд було проведено експериментальні дослідження роботи напружено-деформованого стану двохпролітних нерозрізних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень. Балки виготовлялись із важкого бетону класу С25/30 і армувались двома зварними каркасами. Робоча арматура - два стержні діаметром 12 мм класу А400, поперечна арматура із класу А240, діаметром 6мм. Армування балок подвійне симетричне. Крок поперечних стержнів на приопорних ділянках 100мм, а в прольоті - 200мм. Нерозрізні двохпролітні балки з однаковими прольотами по 1500мм і розмірами поперечного перерізу 100x160мм. Випробування балок здійснювалось за допомогою спеціальної силової траверси з використанням гідравлічного преса ПГ-200. Балки завантажувались чотирма зосередженими силами, по дві сили в кожному прольоті, які прикладалися по схемі, показаній на рис. 1. Конструктивна схема випробування балок наведена на рис. 2.

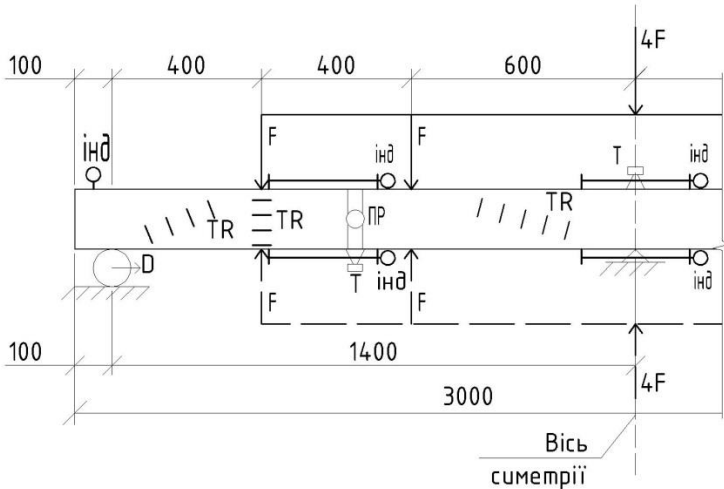


Рис. 1. Схема прикладення сил і розташування вимірювальних приладів

На рис. 1. Також показано розташування вимірювальних приладів, які використовувались при випробуванні балок.

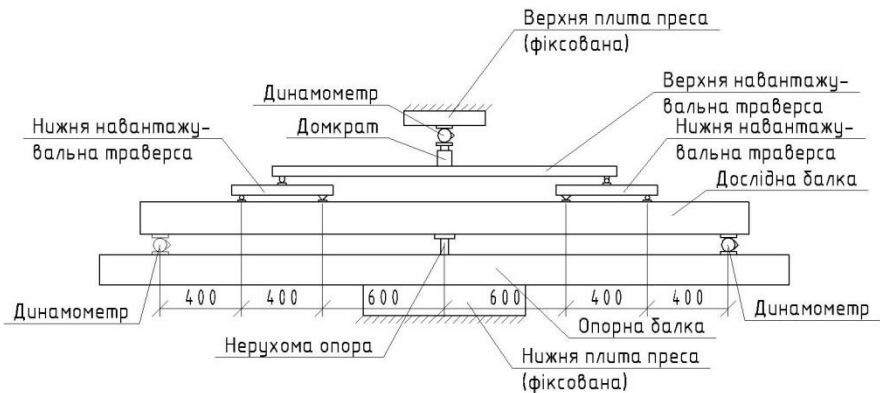


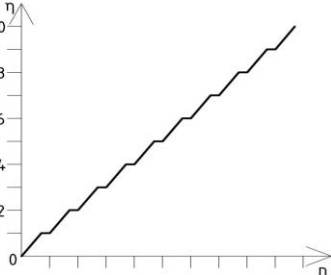
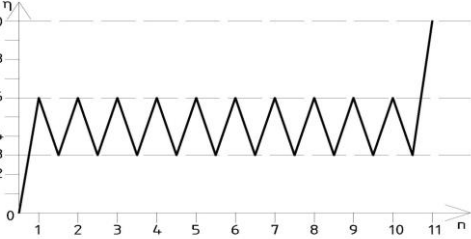
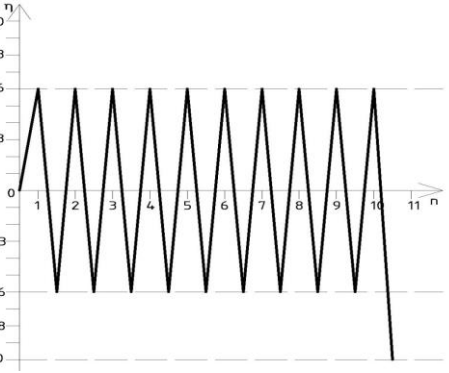
Рис. 2. Схема випробування двох пролітних балок

Випробування балок здійснювалось одноразовим статичним навантаженням до руйнування для визначення руйнуючих зусиль і визначення рівнів навантажень, яким здійснювалось випробування балок за дії малоциклових повторних навантажень різних рівнів і малоциклових знакозмінних навантажень. Кількість циклів за дії малоциклових навантажень було прийнято десять і після десяти циклів балки доводились до руйнування. Схеми режимів

навантажень балок наведені в таблиці 1. В кожному режимі навантажень було випробувано по три зразки-близнюки.

Таблиця 1

Схеми режимів навантаження балок

Шифр балок	Режими навантажень	Вид навантаження
БОС-1 БОС-2 БОС-3		Одноразове короткочасне, ступінчасте до руйнування
БМЦП-1 БМЦП-2 БМЦП-3		Короткочасне, мало циклове повторне навантаження рівень (0,3-0,6) з руйнуванням після десяти циклів
БМЦЗН-1 БМЦЗН-2 БМЦЗН-3		Короткочасне, мало циклове знакозмінне навантаження (рівень 0,6) з руйнуванням після десятого циклу

У процесі випробування балок вимірювались деформації бетону і арматури, прогини балок і можливе переміщення крайніх опор. Деформації бетону вимірювались індикаторами годинникового типу з ціною поділок 0,001 мм на базі 200 мм і тензорезисторами з базою 50 мм, наклеєних ланцюжками в прольотах де виникали максимальні додатні згинальні моменти під першою силою від крайньої опори і максимальні від'ємні моменти під центральною опорою, а також в похилих перерізах від опори до місць прикладення сил на балку. Деформації арматури вимірювались за допомогою тензометрів Гугенбергера на базі 20 мм з ціною поділок 0,001 мм та тензорезисторів на базі 20 мм, які наклеювались на арматурні стержні. Прогини балок вимірювали прогиномірами типу 6 ПАО ЛИСИ з ціною поділок 0,01мм. За індикаторами годинникового типу визначали переміщення крайніх опор. За появою тріщин в процесі випробування балок спостерігали візуально та за допомогою мікроскопу МПБ-3 з ціною поділки 0,002мм. На кожному напівциклі завантажень на гранях балок відмічали висоту розвитку нормальних h_w та довжину похилих тріщин l_w . Використання даної методики проведення експериментальних досліджень роботи балок з розробленим устаткуванням і використанням сучасних вимірювальних приладів дозволило дослідити за дії вище зазначених навантажень реальний напружено-деформований стан нормальних і похилих перерізів балок і його зміну в процесі випробування.

Результати досліджень

Механізм деформування, тріщиноутворення та руйнування нерозрізних балок суттєво відрізняється від роботи однопротітних залізобетонних згинальних елементів навіть при однозначному статичному навантаженні (при першому напівциклі). З ростом навантаження спочатку з'являються нормальні тріщини над середньою опорою у зоні дії максимального моменту, потім в прольотах між зосередженими силами і в прольотах зрізу розтягнутої зони. Похилі тріщини з'явилися при навантаженні, яке в середньому у 2,5 рази перевищує навантаження, при якому утворюються нормальні тріщини. Все це фіксувалось при завантаженні балок на 1-му напівциклі при малоциклових повторних і знакозмінних навантаженнях. При подальших циклічних завантаженнях з кожним циклом напружено-деформований стан балок змінювався. Це прослідковувалося з

ростом деформацій і тріщиноутворень в експериментальних зразках. Якщо порівнювати напружено-деформований стан балок за дії малоциклових повторних і малоциклових знакозмінних навантажень, то тут також є суттєва відмінність. Утворення і розвиток тріщин, які перетинали практично весь переріз, було більш характерним за своєю появою значеннями зі збільшенням циклів. Після переміни знака зусиль мікротріщини утворювались більш інтенсивніше, з'єднувались між собою і утворювали магістральні тріщини. Після утворення умовного пластичного шарніру під середньою опорою (напруження в робочій арматурі досягли межі текучості) має місце перерозподіл внутрішніх зусиль з різким збільшенням згинальних моментів в прольотах з утриманням максимально можливого значення згинального моменту над середньою опорою. При доведенні балок до руйнування, воно відбувалось внаслідок досягнення межі текучості прольотної арматури.

Аналізуючи зміну напружено-деформованого стану від циклу до циклу за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень, слід звернути увагу на зміну значень згинальних моментів (зовнішніх зусиль), які наведені в таблицях 2 і 3.

Таблиця 2
Зміна згинальних моментів в балках при повторних навантаженнях (середні значення)

Цикли	Рівень навантаження η	Значення прольотного моменту (кНм)	Теоретичне значення прольотного моменту (кНм)	Значення опорного моменту (кНм)	Теоретичне значення опорного моменту (кНм)
1	0,6	5,868	5,824	8,550	8,929
	0,3	2,600	2,908	4,268	4,468
2	0,6	5,868	5,824	8,018	8,929
	0,3	2,600	2,908	5,402	4,468
3	0,6	5,800	5,824	9,600	8,929
	0,3	2,500	2,908	5,402	4,468

Продовження таблиці 2					
4	0,6	5,600	5,824	9,600	8,929
	0,3	2,400	2,908	5,402	4,468
5	0,6	5,400	5,824	10,020	8,929
	0,3	2,000	2,908	5,402	4,468
6	0,6	5,400	5,824	9,600	8,929
	0,3	2,000	2,908	5,402	4,468
7	0,6	5,400	5,824	9,600	8,929
	0,3	2,000	2,908	5,402	4,468
8	0,6	5,400	5,824	9,600	8,929
	0,3	2,000	2,908	5,402	4,468
9	0,6	5,400	5,824	9,600	8,929
	0,3	2,000	2,908	5,402	4,468
10	0,6	5,400	5,824	10,406	8,929
	0,3	2,000	2,908	5,402	4,468
Довантаження після 10 циклів до руйнування	т.с.				
	7	6,732	6,134	11,115	9,470
	8	8,400	7,052	12,157	10,817
	9	10,400	7,934	13,138	12,164
	10	12,200	8,818	14,179	13,528
	11	14,600	9,700	14,202	14,875

Балки зруйнувались при $F=11,1$ кН (середнє значення по 3-х балках)

У таблицях 2 і 3 наведені середні (по 3-х балках) значення згинальних моментів. Поскільки відмінність в кожному циклі як при повторних, так і при знакозмінних навантаженнях складає 5%-7%, це свідчить про однорідність балок і ідентичність їх роботи на перших пів циклах. Це також підтверджується їхніми практично однаковими прогинами.

Треба зазначити, що при повторних малоциклових навантаженнях стабілізація напружено-деформованого стану настає на 5-6 циклах.

Таблиця 3

Зміна згинальних моментів при знакозмінних навантаженнях
(середні значення)

Цикли	Напів цикли	Рівень навантаження η	Значення прольотного моменту (кНм)	Відношення $\frac{M_{експ.}}{M_{теор}}$ %	Значення опорного моменту (кНм)	Відношення $\frac{M_{експ.}}{M_{теор}}$ %
1	1а	0,6	5,276	103,8	4,574	86,9
		0	0	1	0	1
	1б	0,6	5,288	102,9	4,742	90,2
2	2а	0,6	4,828	95,0	6,112	116,7
		0	0	1	0	1
	2б	0,6	5,114	100,7	5,141	97,7
3	3а	0,6	5,014	98,7	5,491	104,4
		0	0	1	0	1
	3б	0,6	5,176	101,9	4,924	93,6
4	4а	0,6	4,900	96,5	5,890	111,9
		0	0	1	0	1
	4б	0,6	4,800	94,5	6,240	118,6
5	5а	0,6	5,014	98,7	5,491	104,4
		0	0	1	0	1
	5б	0,6	4,929	97,0	5,841	111,0
6	6а	0,6	5,560	109,4	5,501	98,0
		0	0	1	0	1
	6б	0,6	5,342	105,2	5,365	82,6
7	7а	0,6	5,500	105,9	5,274	112,2
		0	0	1	0	1
	7б	0,6	5,300	99,4	5,365	101,9
8	8а	0,6	5,150	99,9	5,274	100,3
		0	0	1	0	1
	8б	0,6	5,176	101,9	4,924	93,6
9	9а	0,6	4,914	96,7	5,841	111,4

		Продовження таблиці 3				
		0	0	1	0	1
9б		0,6	5,410	106,5	4,105	98,0
10	10а	0,6	5,100	100,4	5,190	98,6
		0	0	1	0	1
	10б	0,6	5,350	105,3	4,315	92,0
Довантаження після 10 циклів до руйнування		т.с.				
		6,2	5,468	95,4	5,901	115,3
		7,0	6,170	97,8	6,075	107,3
		7,8	6,878	99,10	6,594	103,2

Балки зруйнувались при $F=7,81$ кН (середнє значення на 3-х балках).

При доведенні цих балок до руйнування після десяти циклів спостерігається перерозподіл зусиль, прольотні моменти інтенсивніше збільшуються чим опорні, а при руйнуванні вони майже однакові. Все це можна пояснити, аналізуючи деформації арматури на середній опорі і в прольотах.

Аналізуючи напружено-деформований стан балок при малоциклових знакозмінних навантаженнях, слід зазначити, що чіткої стабілізації не відбувається. Це пояснюється постійною зміною жорсткості перерізів. Але при доведенні балок, після десяти циклів знакозмінних навантажень, до руйнування спостерігається перерозподіл зовнішніх зусиль, тобто відбувається вирівнювання опорного і прольотних моментів.

Висновки. На основі проведених експериментальних досліджень виявлено, що за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень, також як і при однозначних відбувається перерозподіл зусиль в нерозрізних балках. Але характер перерозподілу зусиль при малоциклових повторних і знакозмінних навантаженнях відрізняється. Все це пояснюється відмінністю напружено-деформованого стану при відповідних навантаженнях.

1. Дорофеев В.С. Прочность, трещиностойкость и деформативность неразрезных железобетонных балок / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, Е.Н. Крантовская // - Одесса: Эвен, 2010 – 175с.

2. Дорофеев В.С. Розрахунок міцності нерозрізних балок з використанням деформативної моделі / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, О. М. Крантовська // Механіка руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: Зб. наук. пр. – Львів: Каменярь, 2007, - вип. 7, - с. 223-237.

3. Дорофеев В.С. Тріщиностійкість нерозрізних балок / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, О.М. Крантовська // Теорія і практика будівництва: Вісник нац. унів-ту «Львівська політехніка», - №600 – Львів, 2007, - с. 92-100.

4. Дорофеев В.С. Деформативность материалов неразрезных железобетонных балок / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, Е.Н. Крантовская, А.М. Бреднёв // Вісник ОДАБА. – Вип. 38. – Одеса, 2010. С. 246-254.

5. Дорофеев В.С. Расчет прогибов неразрезных железобетонных балок / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, Е.Н. Крантовская // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Вип. 20. – Рівне, НУВГП, 2010. – с. 193-204.

6. Дороев В.С. Напряженное состояние продольной арматуры и перераспределение изгибающих моментов в неразрезных железобетонных балках / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, Е.Н. Крантовская // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Вип. 21. – Рівне, НУВГП, 2011, - с. 2015-223.

7. Масюк Г.Х. Експериментальні дослідження перерозподілу зусиль в двох пролітних нерозрізних залізобетонних балках при повторних навантаженнях / Г.Х. Масюк, В.С. Бабич // Вісник Українського державного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. пр. – Рівне, УДУВГП, 2002, вип. 4(17). – с.165-173.

8. Масюк Г.Х. Розрахунок міцності нормальних перерізів нерозрізних залізобетонних балок при повторних навантаженнях на основі деформаційної моделі / Г.Х. Масюк, В.С. Бабич // Будівельні конструкції: міжвідомчий наук. - техн. зб. наук. пр. – Київ. НДІБК, 2004, с.659-664.

9. Бабич В.С. Особливості роботи нерозрізних залізобетонних балок, армованих сталлю без площадки текучості, з урахуванням повторних навантажень / В.С. Бабич // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне, УДУВГП, 2002, вип. 8. – с. 47-55.

10. Савицький В.В. Експериментальні дослідження прогинів та ширини розкриття тріщин у збірно-монолітних нерозрізних залізобетонних балках при дії повторних навантажень / В.В. Савицький // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне, УДУВГП, 2003, вип. 9 – с. 303-310.

11. Бабич С.М. Удосконалення розрахунку нерозрізних залізобетонних балок з використанням деформаційної моделі нормальних перерізів / С.М. Бабич, В.С. Бабич // Таврійський наук. зб. – Херсон, 1999, вип. 11, ч. 3. с. 18-24.