

П.І. ГЕРБ, канд. техн. наук, О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф.,  
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## **МІЦНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ У РОЗТЯГНУТІЙ ЗОНІ ІЗ БЕТОНІВ НА ВІДХОДАХ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНИХ РУД ПРИ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ ВИСОКИХ РІВНІВ**

Наведені та проаналізовані результати проведення досліджень підсилених залізобетонних балок із відходів гірничо-збагачувальних комбінатів при дії монотонних та циклічних навантажень з різним рівнем повторного навантаження.

**Стан питання та задачі дослідження.** Реалізація широкої програми впровадження в будівництво нових матеріалів і технологій вимагає особливої уваги до реконструкції і модернізації будівель і споруд. У процесі реконструкції виконують відновлення чи підсилення існуючих будівельних конструкцій.

Підсилення залізобетонних конструкцій виконують з метою збільшення їх несучої здатності і жорсткості, а також у зв'язку з ушкодженнями, що вони одержують під час будівництва, експлуатації, за рахунок дії агресивного навколишнього середовища і т.п.

Найбільш розповсюдженим методом підвищення несучої здатності залізобетонних елементів, що працюють на згин, є нарощування розтягнутої чи стиснутої зони шаром залізобетону.

В останній час у будівництві виникла проблема дослідження напружено-деформованого стану конструкцій при високому рівні напруг, особливо з урахуванням змін у процесі експлуатації.

Для забезпечення надійності підсилених залізобетонних конструкцій необхідно знати режими навантаження, закономірність зміни міцності і деформативності матеріалів, процеси тріщиноутворення і розвитку тріщин при дії малоциклового навантаження.

У той же час використання більш економічних матеріалів є пріоритетним напрямком розвитку будівництва. Зменшення вартості будівельних конструкцій досягається шляхом економії засобів, будівельних матеріалів і природних ресурсів, тому пропонується ширше використовувати матеріали побічного видобутку гірничодобувної промисловості для виробництва будівельних конструкцій.

Широке використання відходів гірничодобувної промисловості дозволяє забезпечити будівельну галузь надійними і більш економічними матеріалами і буде сприяти рішенню важливих проблем, таких як: відновлення земельних площ, що використовуються під відвали; більш дбайливе використання природних ресурсів; стабільність постачання якісних і дешевих заповнювачів для бетону.

У Криворізькому басейні налагоджене виробництво класифікованих пісків з відходів збагачення, застосування яких у виробництві залізобетону економічно виправдано.

Аналіз останніх досліджень. Вивченню роботи підсилених залізобетонних конструкцій присвятили свої роботи Л.В. Афанасьєва, А.Я. Барашиков, С.В. Бондаренко, Б.А. Боярчук, О.І. Валовой, Г.В. Гетун, О.Б. Голишев, А.Ю. Еременко, О.Д. Журавський, П.И. Кривошеев, Е.Ф. Лисенко, Г.А. Молодченко, Л.А. Мурашко, Й.П. Новаторський, Р.С. Санжаровський, П.О. Сунак, Г.Н. Хайдуков, О.Л. Шагин, В.С. Шмуклер, А. Касасбех, Г.В. Чанг, Л.М. Чи, М.А. Максур і ін.

Дослідженню роботи бетонних і залізобетонних елементів при дії малоциклового навантаження присвятили свої роботи Е.М. Бабич, А.Я. Барашиков, Н.М. Битько, О.І. Валовой, А.В. Войцеховський, А.В. Гергель, А.Б. Григорчук, А.С. Залісів, В.В. Караван, Н.И. Карпенко, А.М. Кокарев і ін.

Дослідженням особливостей роботи залізобетонних конструкцій, виготовлених з бетонів на дрібних заповнювачах - відходах ГЗК займалися Г.Н. Бондаренко, О.І. Валовой, Г.Т. Стороженко, Л.І. Стороженко, Б.Н. Шевченко й ін.

У той же час вивчення роботи конструктивних елементів з бетону на відходах збагачення залізних руд, при дії повторних навантажень дотепер не проводилося.

**Мета досліджень** - виявити міру впливу малоциклового навантаження на міцність підсилених у розтягнутій зоні залізобетонних балок на відходах збагачення залізних руд.

**Методика досліджень.** Для експериментальних досліджень були виготовлені залізобетонні балки з бетону на відходах збагачення залізних руд довжиною 2070 мм із поперечним перерізом - 220×120 мм у кількості 12 шт

Відповідно до програми дослідження (табл. 1), дослідні балки були розділені на п'ять серій - дві контрольні серії по три зразка, та три дослідні по два зразка. Всі серії балок, крім першої, були попередньо навантажені зусиллям яке становило 0,7-0,8 від руйнівного навантаження першої серії. Після чого балки були розвантажені та підсилені.

Балки підсилювалися нарощуванням у розтягнутій зоні шаром бетону на відходах збагачення залізних руд, розмір полки підсилення 210×3 0мм.

З'єднання "старого" та "нового" бетону виконували за допомогою клею Cerginol ZH фірми Dietermann.

Випробування балок проводили на універсальному гідравлічному пресі ПММ-250 за схемою однопрольотної вільнолежачої балки, навантаженої двома зосередженими силами у третирах прольоту.

Балки першої та другої серії є контрольними і випробовувалися монотонним навантаженням до руйнування. Випробування третьої, четвертої та п'ятої серії балок проводилося циклічним навантаженням згідно табл. 1.

Методика прикладання зусиль до балки при повторному навантаженні наступна - навантаження здійснювали ступенями по 0,1 від руйнівного, яке було визначене за допомогою балок другої серії. Після кожної ступені прикладання навантаження його витримували 10 хвилин, під час яких знімали відліки по приладах, проводили огляд поверхні зразка, відмічали появу тріщин і вимірювали ширину їхнього розкриття.

Максимальний рівень повторного навантаження приймався наступним: для балок третьої серії - 0,75, четвертої - 0,85 та для п'ятої - 0,9 від руйнівного. Зусилля прикладали протягом 10 циклів після чого навантаження доводили до руйнівного.

Момент утворення тріщин у балці визначали візуально мікроскопом, коли ширина тріщин була приблизно 0,025-0,035 мм, а також на підставі показів тензорезисторів.

За момент руйнування підсилених балок було прийнято момент перевищення ширини нормальних тріщин та поздовжнього прогину над нормативними значеннями і руйнування балки у верхній частині середньої третини прольоту.

**Результати досліджень.** При проектуванні, непідсилені балки серії БК проектували так, щоб у нормальному перерізі елемента виконувалася нерівність  $\zeta < \zeta_R$ , тобто балка була недоармована. З огляду на це закономірним є характер руйнування непідсиленних балок серії БК, які зруйнувалися за нормальними перерізами внаслідок досягнення робочою арматурою граничних деформацій. При досягненні навантаженнями рівня 0,7-0,8 від руйнівного, у зоні розтягу середньої третини прольоту, набуває розвитку руйнуюча нормальна тріщина. При підвищенні рівня навантаження починає інтенсивно збільшуватись прогин балок та ширина розкриття руйнуючої тріщини, решта тріщин у цей час вже стабілізувалася. Руйнування супроводжується різким розкриттям нормальної тріщини та наступним фізичним руйнуванням зразків з розривом робочої арматури (рис. 1).



**Рис. 1** Загальний вигляд непідсиленої балки контрольної серії БК, зруйнованої за нормальним перерізом.

Підсилені балки серій БКП, БП-0,75, БП-0,85 та БП-0,9 проектували так, щоб у нормальному перерізі елемента виконувалася нерівність  $\zeta \geq \zeta_R$ , тобто була перевищена межа армування. З огляду на це закономірним є характер руйнування підсиленних балок, які зруйнувалися за нормальними перерізами внаслідок досягнення бетоном стиснутої зони граничних деформацій. При цьому висота стиснутої зони зменшувалася з підвищенням рівня навантаження, поступово

зміщуючись у бік крайніх стиснутих волокон бетону. Інтенсивно розвивалися за шириною та висотою тріщини в нормальних перерізах балок. Їх розвиток припинився при навантаженнях близьких до руйнівного. В момент руйнування, деформації арматури не досягали своїх граничних значень.

## Програма випробувань дослідних балок

Маркування балок	Кільк. зразків шт.	Характеристика зовнішньої дії	Характеристика циклів		Мета випробування
			Рівень навантаження	Кількість циклів	
БК Перша серія (Контрольна не підсилена)	3	Монотонно-ступінчате навантаження до руйнування	0-1,0	-	Визначення міцнісних характеристик при дії монотонно-ступінчастого навантаження
БКП Друга серія (Контрольна підсилена)	3	Монотонно-ступінчате навантаження до руйнування	0-1,0	-	Визначення міцнісних характеристик при дії монотонно-ступінчастого навантаження
БП-0,75 Третя серія	2		0,75	10	Дослідження впливу повторних навантажень на міцність, деформативність та тріщиностійкість
БП-0,85 Четверта серія	2		0,85	10	Дослідження впливу повторних навантажень на міцність, деформативність та тріщиностійкість
БП-0,9 П'ята серія	2		0,9	10	Дослідження впливу повторних навантажень на міцність, деформативність та тріщиностійкість

На практиці, не всі зразки зруйнувались по запланованій схемі. У серії БП-0,85 одна із балок зруйнувалася при досягненні арматури підсилення граничних значень. Це відбулося внаслідок утворення пластичного шарніру від перепалювання робочої арматури під час зварювання каркасу.

При огляді зруйнованих підсилених зразків у зоні контакту основного бетону і полиці підсилення, не було виявлено розшарування у жодній із балок. (рис. 2,3).

У табл. 2 наведено результати експериментальних досліджень несучої здатності балок випробуваних циклічним навантаженням та балок контрольних серій.

З аналізу даних табл. 2, видно, що несуча здатність контрольної підсиленої серії БКП у порівнянні з непідсиленою серією БК зросла на 47%. Несуча здатність балок БП-0,75, БП-0,85, БП-0,9, які випробували повторним навантаженням, в порівнянні з серією БКП, зросла на 3,4 та 5 % відповідно. Але це зростання знаходиться в межах середньостатистичної похибки.

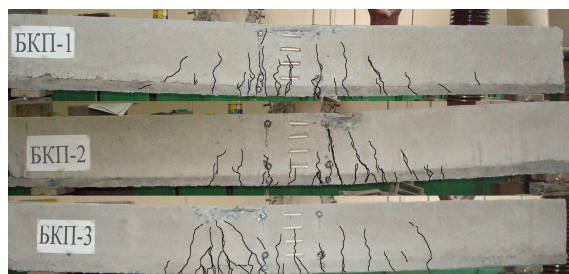


Рис. 2 Загальний вигляд зруйнованих підсилених балок контрольної серії БКП



Рис. 3 Загальний вигляд підсиленої балки серії БП-0,75 зруйнованої циклічним навантаженням (вигляд балок серії БП-0,85 та БП-0,9 подібний)

При дослідженні напруження бетону на стиснутій грані балки від кількості циклів при різних рівнях навантаження виявляється, що рівень стискаючого напруження значно відрізняється від

рівня навантаження, а його числове значення від цикла до цикла залишається майже стабільним (табл. 3). Цим, якраз і можна пояснити однакову несучу здатність в усіх підсилених балках.

Таблиця 2

Середні експериментальні значення міцності дослідних балок				
Марка балки	Середнє руйнівне зусилля, $P_u$ , кН	Відносне значення міцності, $P_{ui}/P_0$		Згинальний момент при руйнуванні $M$ , кНм
2	3	5	6	7
БК	93	1	-	27,9
БКП	137	1,47	1,00	41,1
БП-0,75	141	1,52	1,03	42,3
БП-0,85	143	1,54	1,04	42,9
БП-0,9	144	1,55	1,05	43,2

Таблиця 3

Зміна рівня стискаючого напруження на стиснутій грані балки від кількості циклів при різних рівнях навантаження

Номер циклу	БП-0,75		БП-0,85		БП-0,9	
	$\sigma_b$ , МПа	$\eta=\sigma_b/R_b$	$\sigma_b$ , МПа	$\eta=\sigma_b/R_b$	$\sigma_b$ , МПа	$\eta=\sigma_b/R_b$
1	14,57	0,70	15,90	0,76	17,64	0,84
2	14,63	0,70	16,36	0,78	17,50	0,84
3	14,56	0,69	16,40	0,78	16,98	0,81
4	14,55	0,69	16,28	0,78	16,85	0,80
5	14,59	0,70	16,21	0,77	16,72	0,80
6	14,80	0,71	16,14	0,77	16,64	0,79
7	14,89	0,71	16,06	0,77	16,52	0,79
8	14,95	0,71	15,95	0,76	16,35	0,78
9	15,02	0,72	15,87	0,76	16,27	0,78
10	14,87	0,71	15,63	0,75	16,18	0,77
до руйнування	15,17	0,71	15,46	0,74	16,25	0,77

Висновки. Із поставленого експерименту випливає, що циклічність навантаження з рівнем  $0,75 \leq \eta \leq 0,9$  від руйнуючого не впливає на несучу здатність підсиленого елемента, так-як рівень напруження бетону при стиску, не перевищує 0,65 від  $R_b$ . Це свідчить, що робота зігнутого залізобетонного елемента знаходиться в області циклічної стабільності деформування бетону і арматури.

#### Список літератури

1. **Гордєєва Т.Ф.** Исследование изгибаемых железобетонных элементов при повторных статических нагрузках. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Київ, 1970, – 20 с.
2. **Бондаренко В.М., Бондаренко С.В.** Инженерные методы нелинейной теории железобетона. – М.: Стройиздат, 1982.
3. **Валовой А.І.** Влияние кратковременных переменных нагрузок на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных элементов из бетоном на отходах обогащения железных руд. Автореф. дис. на виш. вч. ступ. канд. техн. наук. Київ: КІСІ, 1980. – 20 с.
4. ГОСТ 10180-78. Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
5. Железобетонные конструкции из бетонов на отходах горнорудной и металлургической промышленности / **Л.І. Стороженко, Б.Н. Шевченко** та ін. – К.: Будівельник, 1982.
6. **Московитин В.В.** Циклическое нагружение элементов конструкций. – М.: Наука, 1981.

Рукопис подано до редакції 18.03.13