

## Список літератури

1. Николин В.И. Снижение травматизма от проявлений горного давления / В.И. Николин, С.В. Подкопаев, А.В. Агафонов, Н.В. Малеев. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 232 с.
2. Селезень А.Л. Поддержание подготовительных выработок при разработке крутых угольных пластов / А.Л.Селезень, А.Г.Томасов, В.Ф.Андрушко – М.: Недра, 1977. – 205с.
3. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Унвер – М.: Машиностроение, 1985. – 472с.
4. Методические указания по изготовлению моделей из оптически чувствительных материалов для исследования проявлений горного давления. – Л.: ВНИМИ, 1970. – 180 с.
5. Хаимова-Малькова Р.И. Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. – Наука, 1970. - 194 с.
6. Баклашов И.В. Деформируемость и разрушение породных массивов / И.В. Баклашов – М.:Недра, 1988. – 271с.
7. Норель Б.К. Изменение механической прочности угольного пласта в массиве / Б.К. Норель – М.: Наука, 1983. – 201 с.
8. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер – М.: Наука, 1979. – 560с.
9. Циглер Ф. Механика твердых тел и жидкостей. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. – 912с.
10. Gross D., Ehlers W., Wriggers P, Schroder I, Muller R. Dynamics – Formulas and Problems: Engineering Mechanics. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 2017. – 249p. – ISBN: 3662534363
11. Varuh H. Applied Dynamics. Taylor Francis Group. LLS., 2015. – 872p. – ISBN:148225073X
12. Richard F.E., Whitman R.V. Comparison of footing vibration with theory. – I. Soil Mech. And Found. Div. ASCE, 1967. - №93,6 – p.143-168
13. Ильин М.М. Теория колебаний / М.М. Ильин, К.С. Колесников, Ю.С. Саратов – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 271 с.
14. Подкопаев С.В., Иорданов И.В., Чепига Д.А. О динамических нагрузках при внезапных обрушениях боковых пород // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький нац. ун-т ім. М.Остроградського: Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип.2(18) – с.99-112.
15. Тригуб А.М., Штагер Е.В. Приближенные способы оценки коэффициента восстановления при соударении твердых тел // Современные наукоемкие технологии. – 2014. - №5. – 1. – с.91-93; URL: <https://www.top.technologies.ru/ru/article/view?id=33723>.
16. Ginsberg I. Engineering Dynamics. Cambridge University Press. 2008. – 726p. – ISBN:0521883032.
17. Кочетков А.В., Федоров П.В. Некоторые вопросы теории удара // Наукоедение. Интернет-журнал. №5. 2013 – с.1-15 / <http://publ.naukovedemie.ru>
18. Лапшин В.В. Удар тела о препятствие // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. – Вып.12. – 17с. URL: <http://engjournal.ru/catalog/eng/teormech/1134.html> DOI: 10.18698/2308-6033-2013-12-1134.
19. Bottega W.I. Engineering Vibrations. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006. – 727 p. – ISBN: 0849334209

Рукопись поступила в редакцию 07.04.17

УДК 624.012.45

П.І. ГЕРБ, канд. техн. наук., доц., О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук., проф.  
Криворізький національний університет

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ГЗК, ЯК ЗАПОВНЮВАЧА В БЕТОНАХ, ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ПРИ ПІДСИЛЕННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК

**Мета.** Метою даної роботи є порівняння експериментальних і розрахункових значень ширини розкриття тріщин підсиленних у розтягнутій зоні залізобетонних балок на відходах збагачення залізних руд при малоциклових навантаженнях.

**Методи дослідження.** Для експериментальних досліджень були виготовлено п'ять серій залізобетонних балок з бетону на відходах збагачення залізних руд. 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 нарощуванням у розтягнутій зоні шаром бетону. Балки підсилювалися нарощуванням у розтягнутій зоні шаром бетону на відходах збагачення залізних руд.

**Наукова новизна.** вперше отримано експериментальні дані щодо тріщиностійкості підсиленних у розтягнутій зоні згинальних залізобетонних елементів з бетону на заповнювачах із відходів збагачення залізних руд, які зазнають дії малоциклових навантажень високих рівнів. Виявлено закономірність характеру утворення й розкриття тріщин від

початкових рівнів монотонно зростаючого навантаження і до руйнування, а також при дії високих рівнів малоциклового навантаження, у балках виготовлених і підсиленіх бетоном з відходів збагачення залізних руд.

**Практична значимість.** виявлена ефективність використання бетонів на заповнювачах з відходів збагачення магнітної сепарації ГЗК при підсиленні залізобетонних конструкцій, у розтягнутій зоні. Експериментально доведено можливість використання наявних методик розрахунку міцності для непідсиленіх і підсиленіх залізобетонних згинальних елементів виготовлених з бетонів на заповнювачах із відходів збагачення залізних руд з прийнятною для практичних задач точністю.

**Результати.** Результати розрахунку ширини розкриття нормальних тріщин підсиленіх і непідсиленіх балок позитивно відображають дослідні дані. При цьому теоретична ширина нормальних тріщин завжди більша за експериментальну, що свідчить про стійкість і надійність розрахункових формул. Чинні норми коефіцієнтами  $\phi_1$  та  $\psi_b$  забезпечують належний запас міцності при розрахунку ширини розкриття тріщин для елементів, що піддаються циклічним навантаженням, але не відображають залежність збільшення ширини розкриття тріщин від рівня максимального навантаження й кількості циклів. Експериментально доведено, що використання бетонів на відходах ГЗК в непідсиленіх та підсиленіх балках показує момент тріщиноутворення відповідно на 16 та 3% більший за розрахунковий.

**Ключові слова:** бетон, випробування, навантаження, відходи, тріщиностійкість, підсилення

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** 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 підсиленіх залізобетонних конструкцій необхідно знати режими навантаження, закономірність зміни міцності і деформативності матеріалів, процеси тріщиноутворення і розвитку тріщин при дії малоциклового навантаження. Наявні методики розрахунку не завжди показують достовірні результати

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.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідженням особливостей роботи залізобетонних конструкцій, виготовлених з бетонів на дрібних заповнювачах - відходах ГЗК займалися ГН. Бондаренко, О.І. Валовой, Г.Т. Стороженко, Л.І. Стороженко, Б.Н. Шевченко й інші [1-6].

Вивченню роботи підсиленіх 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.І. Кривошесєв, Е.Ф. Лисенко, Г.А. Молодченко, Л.А. Мурашко, Й.П. Новаторський, П.О. Сунак, Г.Н. Хайдуков, О.Л. Шагин, В.С. Шмуклер, А. Касасбех, Г.В. Чанг, Л.М. Чи, М.А. Максур й ін. [7-8].

Дослідженню роботи бетонних і залізобетонних елементів при дії малоциклових навантажень присвятили свої роботи Е.М. Бабич, А.Я. Барашиков, Н.М. Битько, О.І. Валовой, А.В. Войцеховський, А.В. Гергель, А.Б. Григорчук, О.Б. Гурківський, О.О. Заречанський, А.С.Залісів, В.В. Караван, Н.И. Карпенко, А.М. Кокарев й ін. [9-14].

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

**Постановка завдання.** В дослідженні потрібно порівняти експериментальні і розрахункові значення ширини розкриття тріщин підсиленіх у розтягнутій зоні залізобетонних балок на відходах збагачення залізних руд при малоциклових навантаженнях.

**Викладення матеріалу та результати.** Для експериментальних досліджень були виготовлено п'ять серій залізобетонних балок з бетону на відходах збагачення залізних руд [15]. Усі 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 нарощуванням у розтягнутій зоні шаром бетону

Балки першої та другої серії є контрольними і випробовувалися монотонним навантаженням до руйнування. Випробування третьої, четвертої та п'ятої серії балок проводилося циклічним навантаженням. Максимальний рівень повторного навантаження приймався наступним: для балок третьої серії – 0,75, четвертої – 0,85 та для п'ятої – 0,9 від руйнівного. Зусилля приклали протягом 10 циклів після чого навантаження доводили до руйнівного.

Момент утворення тріщин у балці та подальший розвиток ширини розкриття визначали візуально мікроскопом з 24-х кратним збільшенням, 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.

При випробуванні балок на повторні навантаження, вимірювання ширини розкриття тріщин ( $a_{crc}$ ) проводилися як на півциклі навантаження, так і на півциклі розвантаження. Така методика дозволила прослідкувати за виникненням та розвитком тріщин у всьому діапазоні роботи зразків, визначити динаміку розкриття і закриття тріщин при зміні повторних навантажень. За результатами проведених дослідів з визначення ширини розкриття тріщин складена табл. 1, у якій наведені відомості про зусилля тріщиноутворення непідсилених та підсилених серій балок.

Таблиця 1

Середні експериментальні значення ширини розкриття тріщин при рівні навантаження 0,7-0,8 від руйнівного

Марка балки	Зусилля, кН		Середня дослідна ширина розкриття тріщин $a_{crc}$ , мм	$a_{crcl}/a_0$	$a_{crcl}/a_0$	Допустима ширина розкриття тріщин за нормами $[a_{crc}]$ , мм	$a_{crcl}/[a_{crc}]$
	руйнівне $P_u$	при визначенні ширини розкриття $P_i$					
Контрольна непідсилена	93	70	0,099	1	-	0,40	0,25
Контрольна підсилена	137	103	0,092	0,93	1,00	0,40	0,23
Дослідна з максимальним рівнем навантаження в циклі	0,75	141	0,111*	1,12	1,21	0,40	0,28
	0,85	143	0,125*	1,26	1,36	0,40	0,31
	0,9	144	0,131*	1,32	1,42	0,40	0,33

\*-значення на останньому півциклі

Після 10 циклів навантаження ширина розкриття тріщин в усіх серіях, що випробовувалися циклічним навантаженням, збільшилася у 1,35-1,45 рази в порівнянні з першим циклом. У балках режимних серій стабілізація зміни  $a_{crc}$  відбулася після 7-8 циклу. Це дещо швидше ніж у дослідях над балками без підсилення проведених іншими авторами [9-14].

Циклічне прикладання навантаження збільшує ширину розкриття тріщин в порівнянні з тим же рівнем навантаження балок, випробуваних монотонним навантаженням на 21, 36 та 42% відповідно серіям з максимальним рівнем навантаження циклу 0,75, 0,85 та 0,9 (табл.1).

В процесі проведення дослідів були проведені спостереження за ступенем закриття тріщин на кожному півциклі розвантаження. При цьому визначалася залишкова ширина розкриття тріщин після повного зняття навантаження. За результатами дослідження, після десятого циклу спостерігається збільшення залишкової ширини розкриття тріщин у 2,5-3,5 рази. При цьому стабілізації не спостерігається, а ступінь закриття залежить від максимального рівня навантаження і номера циклу.

Аналізуючи розрахункову ширину розкриття тріщин, отриману для серій балок, випробуваних циклічним навантаженням, (див. рядки 3-5 табл. 2), можна сказати, що чинні норми забезпечують належний запас міцності, але не відображають залежність збільшення ширини розкриття тріщин від рівня максимального навантаження і кількості циклів.

Циклічне прикладання навантаження збільшує ширину розкриття тріщин у порівнянні з тим же рівнем балок, випробуваних монотонним навантаженням від 20 до 65 % (табл. 2). При цьому спостерігається доволі повільна стабілізація величини  $a_{crc}$ .

Таблиця 2

Результати розрахунку максимальної ширини розкриття тріщин і їх порівняння з експериментальними значеннями

Серія балок		$a_{crc}^{теор}$ , мм	$a_{crc}^{експ}$ , мм	$a_{crc}^{експ} / a_{crc}^{теор}$	$a_{crc,i} / a_o$
Контрольна непідсилена		0,21	0,17	0,80	–
Контрольна підсилена		0,24	0,2	0,84	1
Дослідна з максимальним рівнем навантаження в циклі	0,75	0,35	0,24	0,69	1,2
	0,85	0,35	0,28	0,81	1,4
	0,9	0,35	0,33	0,95	1,65

Примітка:  $a_o$  – експериментальне значення ширини розкриття тріщин для балок контрольної підсиленої серії.

За результатами проведених дослідів з визначення моменту утворення тріщин складена табл. 3, у якій наведені відомості про зусилля тріщиноутворення непідсилених та підсилених серій балок.

Таблиця 3

Середні експериментальні значення зусиль тріщиноутворення

Марка балки	Зусилля тріщиноутворення, $P_{crc}$ , кН	Відносне значення тріщиноутворення, $P_{crci}/P_u$	Момент тріщиноутворення, $M_{crc}$ , кН·м
2	3	4	4
БК	21	0,23	6,31
БКП	26,5	0,19	7,95
БП-0,75		0,19	
БП-0,85		0,19	
БП-0,9		0,18	

Слід зазначити, що усі підсилені зразки перед підсиленням піддавали попередньому навантаженню, яке складало 0,7-0,8 від руйнівного. На цьому етапі випробувань момент утворення тріщин у середньому в усіх зразках відповідав зразкам контрольної серії БК.

Як видно з колонки 4 табл. 2, результати випробувань балок показали, що тріщиностійкість непідсилених зразків близько 0,21-0,24 від руйнуючого навантаження, а підсилених - 0,17-0,20.

Похили тріщини з'явилися при навантаженнях, які становили 80-85% від руйнуючого. Тобто значно перевищували навантаження тріщиноутворення. Крім того ці тріщини до рівня  $(0,9-0,95)P_u$  практично не розвивалися. Звідси очевидно, що похили тріщини для стадії експлуатації конструкції небезпеки не являють.

Деформації розтягу у момент утворення тріщин на рівні крайнього розтягнутого волокна балок контрольної серії БК склали  $(13-15) \cdot 10^{-5}$ , а контрольної підсиленої серії БКП -  $(15-18) \cdot 10^{-5}$ . Деформації режимних балок у момент тріщиноутворення на першому циклі рівні деформаціям контрольної серії БКП. Зазначені величини деформацій практично співпадають з граничною розтягуваністю бетонів ( $11 \cdot 10^{-5}$ -для бетону В20 та  $13 \cdot 10^{-5}$  для В25) отриманою при випробуванні призм з відповідних бетонів на розтяг при згині.

Наведені результати свідчать про високу ефективність підсилення для відновлення тріщиностійкості балок у випадку, коли у неї вже були тріщини, викликані дією зовнішнього навантаження.

Відновлення та підвищення тріщиностійкості балок, підсилених у розтягнутій зоні можна пояснити такими причинами:

шар підсилення має вищий опір розтягувальним зусиллям та дещо підвищену граничну деформативність при розтязі (бетон підсилення приймається на клас вище бетону підсилюваної конструкції);

наявність шару підсилення створює кращі умови деформування при розтязі в зоні контакту підсилення з бетоном підсилюваної балки, оскільки цей шар відіграє роль суцільного матеріалу, який сприяє більш рівномірному розподілу деформацій, особливо там де були заін'єктовані тріщини;

шар підсилення вирівнює різні дефекти та концентратори напружень, які знаходилися на нижній поверхні підсилюваного елемента;

Данні про кількість тріщин і відстань між ними в процесі повторного навантаження в балках підсиленних серій наведені в табл. 4.

Кількість тріщин в нижній частині підсиленних балок та відстані між ними

Серія і номер зразка	Кількість тріщин по довжині балки		Число тріщин в середній треті прольоту балки	Середнє значення відстаней між тріщинами по довжині балки, см	
	при навантаженні на першому циклі	в кінці спостереження		по зразках	по серії
БКП-1	-	17	15	4,29	5,10
БКП-2	-	18	13	5,00	
БКП-3	-	16	11	6,00	
БП-0,75-1	9	12	10	6,89	7,07
БП-0,75-2	11	13	11	7,25	
БП-0,85-1	11	15	12	6,00	6,33
БП-0,85-2	9	14	10	6,67	
БП-0,9-1	13	20	13	4,47	5,57
БП-0,9-2	11	18	11	6,67	

Характерним для усіх цих серій є поява майже всіх тріщин в зоні чистого згину на першому циклі навантаження. У серіях БП-0,75 та БП-0,85 в процесі циклічної роботи на перших семи циклах, збільшення числа тріщин не було зафіксовано, а на останніх циклах кількість тріщин в середній третині прольоту збільшилася на 7-10 %, з одночасним зменшенням середньої відстані між тріщинами від 7,5 до 7,07 см та від 6,85 до 6,33 см відповідно, це відбулося за рахунок ділення великих відстаней між сусідніми тріщинами. В серії БП-0,9 такого збільшення не відмічалось, хоча на першому і останньому циклі кількість тріщин була найбільша, з відстанню між ними 5,57 см. Остаточне число тріщин сформувалося лише при 0,85-0,95 від руйнуючої під час довантаження балок до руйнування за рахунок утворення похилих тріщин.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Результати розрахунку ширини розкриття нормальних тріщин підсиленних і непідсиленних балок позитивно відображають дослідні дані. При цьому теоретична ширина нормальних тріщин завжди більша за експериментальну, що свідчить про стійкість і надійність розрахункових формул. Чинні норми коефіцієнтами  $\phi_1$  та  $\psi_2$  забезпечують належний запас міцності при розрахунку ширини розкриття тріщин для елементів, що піддаються циклічним навантаженням, але не відображають залежність збільшення ширини розкриття тріщин від рівня максимального навантаження й кількості циклів.

Підсилення залізобетонних балок в розтягнутій зоні має позитивний вплив на тріщиностійкість конструкції. Підвищується на 25 % зусилля тріщиноутворення, зменшується висота розвитку тріщин, а ширина розкриття, на рівні експлуатаційних навантажень, зменшується на 7 %. Повторні навантаження в залежності від максимального рівня циклу по-різному впливають на кількість та характер розвитку тріщин у підсиленних зразках. Ширина розкриття та висота розвитку тріщин збільшується зі збільшенням кількості циклів та максимального рівня навантаження. Після десяти циклів  $a_{crc}$  зросла у 1,35, 1,38, 1,45 та  $h_{crc}$  у 1,32, 1,6, 1,91 рази відповідно серіям балок БП-0,75, БП-0,85 та БП-0,9.

Експериментально доведено, що використання бетонів на відходах ГЗК в непідсиленних та підсиленних балках показує момент тріщиноутворення відповідно на 16 та 3% більший за розрахунковий. Основною причиною цього явища є, підвищена міцність на розтяг таких бетонів. Зважаючи на значний статистичні розбіжності і нестійкість фізичних величин розрахунку моменту тріщиноутворення, описаний спосіб визначення  $M_{crc}$  можна вважати задовільним, він дає досить стабільні результати.

#### Список літератури

1. Шевченко Б.Н. Исследование прочности и деформативности предварительно напряженных железобетонных элементов, изготовленных из бетонов на мелких заполнителях – отходах горно-обогатительных комбинатов : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди” / Б.Н. Шевченко. – Киев, 1980. – 20 с.

2. **Шевченко Б.Н.** Конструкции из бетонов на отходах обогащения железных руд / Б.Н. Шевченко – К.: Высш. шк., 1989. – 192 с.
3. **Шевченко Б.Н.** Предварительно напряженные конструкции из бетона на мелких заполнителях – отходах обогащения железных руд / Б.Н. Шевченко, А.И. Валовой, Н.П. Стаханов // X Международный конгрессе ФИП : 16-20 февраля 1986 г., Дели. : М.: ФИП, НК СССР, 1986. – 12 с.
4. **Стороженко Г.Т.** Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов из бетонов на местных материалах Кривбасса : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / Г.Т. Стороженко –Кривой Рог, 1971. – 19 с.
5. **Стороженко Г.Т.** Конструктивные элементы на местных материалах / Стороженко Г.Т. // Будівельні матеріали і конструкції. – 1971. № 1. – С.12.
6. **Бондаренко Г.Н.** Обычные и высокопрочные бетоны на заполнителях из отходов ГОК / Г.Н. Бондаренко // Бетон и железобетон. – 1975. – № 3. – С.10-12.
7. **Бондаренко С.В.** Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий / С.В. Бондаренко, Р.С. Санжаровский. – М.: Стройиздат, 1990. – 352 с.
8. **Боярчук Б.А.** Експериментальні дослідження прогинів згинальних елементів підсилених різними способами / Боярчук Б.А. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції та споруди : Зб. наук. праць. – Рівне: УДУВГП, 2000. – Вип. 8. – С.64-67.
9. **Гурківський О.Б.** Міцність, жорсткість та тріщиностійкість згинаних залізобетонних елементів при режимних навантаженнях: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди” / О.Б. Гурківський. - К., 2004. - 20 с.
10. **Залесов А.С.** Расчет деформаций железобетонных конструкций по новым нормативным документам / А.С. Залесов, Т.А. Мухамедиев, Е.А. Чистяков // Бетон и железобетон. – 2002. – №5. – С. 15-19.
11. **Заречанський О.О.** Особливості роботи стиснуто-зігнутих залізобетонних елементів при одноразових і повторних малоциклових навантаженнях: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди” / О.О. Заречанський. – Львів, 2008. – 20 с.
12. **Валовой А.И.** Влияние кратковременных переменных нагрузок на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных элементов из бетоном на отходах обогащения железных руд. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Киев: КИСИ, 1980. – 20 с.
13. **Московитин В.В.** Циклическое нагружение элементов конструкций. – М.: Наука, 1981.
14. **Гордеева Т.Ф.** Исследование изгибаемых железобетонных элементов при повторных статических нагрузках. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Киев, 1970, – 20 с.
15. **Герб П. И.** Задачи и методика экспериментальных исследований железобетонных балок, усиленных наращиванием в растянутой зоне бетоном из отходов обогащения железных руд / П. И. Герб // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Рівне : НУВГП, 2009. – Вип. 18. – С. 477–482.

Рукопис подано до редакції 17.03.17

УДК 621.879

А. В. ВЕСНІН, канд. техн.наук., доц., Криворізький національний університет  
І. В. КРУПКО, канд. техн.наук., доц., В. В. СЕГІН, магістр,  
Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕСУВАННЯ ЕКСКАВАТОРА З ЧОТИРЬОХОПОРНИМ КРОКУЮЧИМ РУШІЄМ

**Мета.** Метою даної роботи є розробка методики експериментальних досліджень працездатності крокуючого чотирьохопорного механізму пересування екскаваторів та пошук шляхів його удосконалення. Крокуючі механізми пересування знайшли широке застосування в гірничій промисловості, особливо на машинах з малою швидкістю пересування. Крокуючі механізми, як правило, застосовують на потужних екскаваторах-драглайнах з ковшем місткістю 4 м<sup>3</sup> і більше.

**Методи дослідження.** В роботі використані експериментальні методи дослідження механічних систем, включаючи фізичне моделювання механізму пересування та експериментальні дослідження при різних режимах пересування. Конструкція фізичної моделі чотирьохопорного крокуючого візка дозволяє проводити експериментальні дослідження в умовах, що моделюють процес переміщення такого механізму у гірничих виробках. Експериментальні дослідження були сплановані таким чином, що практично вдалося виключити вплив чинників, що не підлягають контролю і обліку. Метод експериментальних досліджень за допомогою фізичних моделей дозволяє отримати необхідні дані для оцінки надійності механізму і його структурних елементів і з достатнім ступенем вірогідності судити про працездатність досліджуваного об'єкта.

**Наукова новизна.** Крокуючий чотирьохопорний механізм пересування відноситься до нових конструкцій ходового обладнання екскаваторів, а дослідження величини і характеру зміни параметрів для таких механізмів мають визначне значення для їх подальшого застосування.