

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 підсилені 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.

**Практична значимість.** Отримані результати експериментальних досліджень дозволяють визначити фактичні силові і кінематичні параметри процесу пересування крокуючого механізму пересування. Стимулюючим фактором його реального застосування є відсутність обґрунтованих рекомендацій щодо визначення його раціональних параметрів з урахуванням конструктивних особливостей конкретної машини, для чого проводиться цілий ряд експериментальних досліджень на фізичній моделі чотирьохопорного механізму пересування з метою підвищення ефективності його використання.

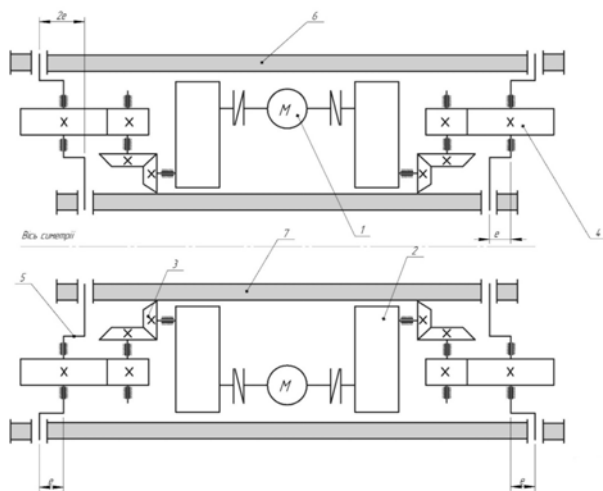
**Результати.** Встановлено раціональні параметри ексцентрика та характер зміни кінематичних і силових параметрів за один його повний оберт та визначені зміни тиску на ґрунт і способи його зменшення на діючих екскаваторах.

**Ключові слова:** екскавація в гірничих виробках, екскаватор-драглайн, крокуючий механізм пересування, фізична модель, ексцентрик, експериментальні дослідження,

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Для підвищення технічного рівня екскаваторів однією з важливих науково-технічних задач є удосконалення існуючих і створення нових конструкцій виконавчих механізмів. Так на кафедрі ПТМ проводяться теоретичні і експериментальні дослідження механізмів пересування екскаваторів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Порівняно з гусеничним ходовим обладнанням крокуючі рушії мають такі переваги як: більш низькі вимоги, щодо несучої здатності ґрунтової поверхні, оскільки вони, за рахунок значної поверхні опорних елементів, можуть забезпечити низькі питомі тиски на ґрунт від 0,05 до 0,15 МПа; відсутність швидкозношуваних шарнірних з'єднань, які притаманні гусеничним передачам; відсутність внутрішніх складових опорів пересуванню машини [2-7]. Серед недоліків можна відзначити значну потужність приводу, так як протягом кожного циклу виникає необхідність підйому всієї машини. Чотирьохопорний крокуючий механізм пересування був вперше розроблений для кар'єрного екскаватора ЕКГ-10 [1], але він потребує подальших досліджень з метою пошуку раціональних геометричних, силових і кінематичних параметрів.

**Постановка завдання.** Оригінальністю конструкції відрізняється новий чотирьохопорний крокуючий хід для кар'єрних екскаваторів кінематична схема якого представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Кінематична схема моделі крокуючого чотирьохопорного механізму: 1 – електродвигун із двома вихідними валами; 2 – редуктори; 3 – конічні передачі; 4 – відкриті зубчасті передачі; 5 – вали; 6, 7 – опорні лижі

Відмінною рисою такого механізму є відсутність опорної бази, функції якої беруть на себе чотири лижі, а основними перевагами порівняно з трьохопорним механізмом є: менша питома металоємність; відсутність зношеної кромки бази; постійне значення тиску на ґрунт при пересуванні; менші динамічні навантаження при пересуванні. До недоліків такого ходового обладнання, по відношенню до трьохопорного, можна віднести: меншу маневреність, наявність окремого приводу.

Відмінною особливістю чотирьохопорного крокуючого механізму є наявність у такому рушії двох пар опорних лиж, внутрішніх і зовнішніх, що приводяться до руху двома парами ексцентриків. У процесі руху в такому механізмі відбувається підйом і опускання візка за рахунок внутрішніх і зовнішніх опорних елементів, які попарно піднімаються та опускаються [9].

При роботі екскаватора у вибої вага машини рівномірно розподіляється на всі чотири опорні лижі. З огляду на конструкцію такого рушія, в якому відсутня значна кількість швидкозношуваних деталей (наприклад, в порівнянні з гусеничним ходом), а також менша маса (порівняно з крокуючим трьохопорним механізмом, зважаючи на відсутність опорної бази), можна припустити, що в процесі експлуатації таких рушіїв виявляться більш ефективними, ніж існуючі. Для промислового використання чотирьохопорного крокуючого механізму, тим не менш, слід досліджувати: особливості переміщення рушія для різних умов роботи; вплив на енергоємність процесу переміщення силових, геометричних і кінематичних параметрів ходового обладнання; зміну навантажень на елементи ходового обладнання в процесі переміщення.

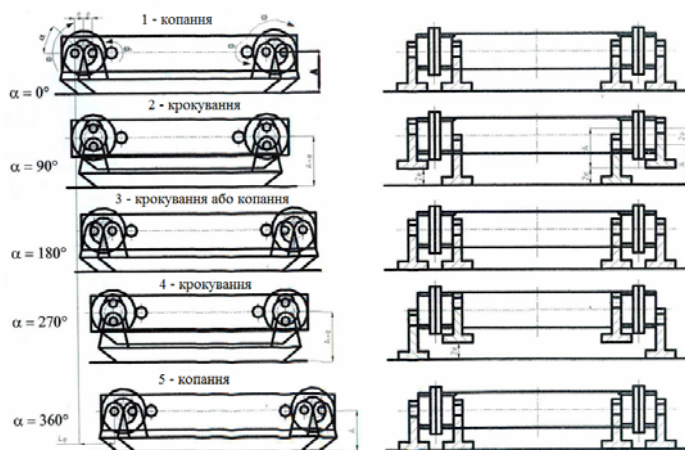
**Викладення матеріалу та результати.** Конструкція ходового обладнання передбачає, що по відношенню до рами опорні поверхні всіх лиж можуть бути тільки паралельні площині рами. Таким чином, якщо опорні поверхні підшви забою під лижами лівого боку машини будуть не паралельні опорним поверхням підшви забою під лижами правого боку машини, то повного прилягання лиж не буде. У цьому випадку машина буде спиратися на три точки, причому можливо і на дві, а при роботі можливо і виникне ефект «похитування», що є відчутним недоліком, втім такі ж недоліки притаманні і в гусеничному ході, особливо з багатоопорними жорсткими гусеницями без балансирів.

Поворот машини може здійснюватися наступними способами, рис. 2:

за рахунок включення одного приводу, тобто за рахунок роботи лижами однієї бічної сторони машини;

за рахунок включення приводів правого і лівого боку машини з різними швидкостями в одному напрямку;

шляхом переміщення лиж на кожній з бічних сторін машини в протилежні сторони.



**Рис. 2.** Чотирьохопорний механізм крокування

Це дозволяє в лабораторних умовах провести експериментальні дослідження [9] крокуючого механізму і опорної частини, виявити параметри, які мають найбільший вплив на процес переміщення і вибрати їх раціональне значення для різних умов роботи, дослідити вплив силових і кінематичних параметрів на енергоємність процесу переміщення екскаватора і обґрунтувати раціональне співвідношення цих параметрів.

Для вивчення процесу переміщення кар'єрного екскаватора з таким рушієм на етапі теоретичних досліджень з урахуванням відомих законів теорії механізмів і машин і динамічних процесів спочатку прийняті наступні допущення:

рівнодіюча сили тяжіння екскаватора перебувати на перетині поздовжньої і поперечної осей симетрії рушія і машини і рівномірно розподіляється на обидві пари лиж;

сили тяжіння лиж в розрахунку не враховуємо;

опорні башмаки вільно переміщуються вгору-вниз і вперед-назад, тобто вплив опору ґрунтів переміщенню машини не враховується;

жорсткість системи на першому етапі не враховуємо;

екскаватор робить рухи, ідентичні рухам осі ексцентрика, тобто вісь ексцентрика жорстко пов'язана з ходовою рамою і корпусом екскаватора;

ККД рушія і приводу передавального механізму на даному етапі досліджень не враховується.

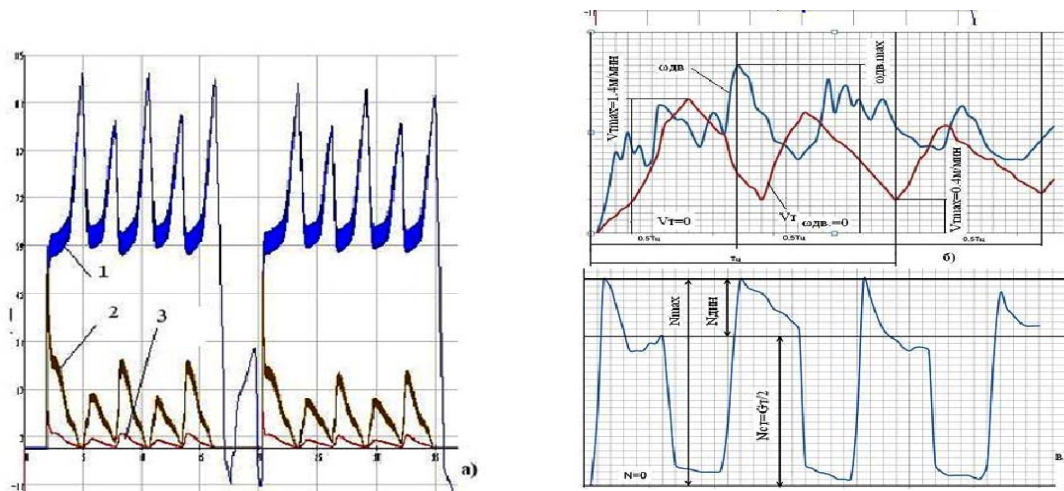
Таблиця 1

Методика експериментальних досліджень чотирьохопорного механізму крокування

Позначення експерименту	Режим руху	Вимірювальні параметри і способи їх вимірювання, кількість циклів
1	Вихідне положення: - настил (лабор. устат. в крайньому положенні)	Налаштування для вимірювання: струму $I$ , напруги $U$ , швидкості пересування
2	2в Рух по прямій «вперед»	Вимірюємо струм, напругу правого боку по ходу вперед, частоти обертання двигуна і швидкості пересування
	2н Рух по прямій «назад»	
3	3вв Рух з поворотом «вперед-вправо» «вперед-вліво»	Вимірюються електричні параметри струм і напруга, обчислюється потужність $P$

Знвл	Рух з поворотом «назад-вліво» «назад-вправо»	
5	Рух по прямій з ухилом по настилу $\alpha=10^\circ$	Кут нахилу опорної поверхні $\alpha=5-10^\circ$ . Вимірюються електричні параметри I, U, P.
6	Рух по прямій з додатковим вантажем $Q=2\text{кН}$	Вимірюються електричні параметри I, U, P. Частота обертання двигуна і швидкості пересування
7	Рух по прямій з вантажем $Q=2\text{кН}$	Вимірюються електричні параметри I, U, P.

Основні завдання, які вирішувалися при проведенні експериментальних досліджень такі: перевірка працездатності чотирьохопорного крокуючого рушія; вивчення характеру (закона) руху візка; вивчення динаміки процесу переміщення; визначення потужності приводу на різних етапах і умовах руху (вперед, назад, поворот вправо, поворот вліво); дослідження впливу нерівностей і ухилів опорної поверхні на величину потужності приводу; встановлення енергоємності процесу переміщення і пошук параметрів, що дозволяють їх знизити. Для вирішення поставлених завдань на фізичній моделі чотирьохопорного крокуючого механізму відомими методами, проводилися дослідження і вимірювання силових, кінематичних параметрів ходового обладнання та електричних параметрів приводу. До досліджуваних силових і кінематичних параметрам відносяться (рис. 3): навантаження на опори і опорні елементи (3а); кутова швидкість приводного вала з ексцентриком (3б); лінійна швидкість візка (3б). У процесі переміщення вимірювалися електричні параметри - напруга, струм і потужність електродвигунів.



**Рис. 3.** Осцилограми вимірювання електромеханічних параметрів моделі чотирьохопорного крокуючого механізму: а - електричні величини, напруги 1, струму 2, потужності 3; б - швидкості візка  $V$  і кутової швидкості валу двигуна  $\omega_{дв}$ ; в - зусиль на опорних елементах  $N$

Аналіз процесу переміщення показує (див. рис. 3), що при повороті ексцентрика від початкового положення на кут  $\alpha=\pi/2$ , значення крутного моменту змінюється з  $M_{кр(max)}^e$  до  $M_{кр(0)}^e$ .

При  $\alpha=\pi/2$  до  $\alpha=\pi/2$  крутний момент - реактивний і привід може працювати в рекуперативному (генераторному) режимі, а в точці відбувається стрибкоподібний перехід режиму роботи двигуна приводу з рекуперативного в руховий режим, а потім характер руху ексцентрика повторюється.

Отже, рух чотирьохопорного рушія і всього екскаватора змінюється за законом косинуса і має особливість різко змінювати значення моменту при  $\alpha=\pi/2$ . Ця особливість може позначитися на величині динамічних навантажень на привід рушія.

Поворот візка з чотирьохопорним механізмом крокування можливий при наступних варіантах: «загальмовані» опорні елементи з одного боку з внутрішньої сторони щодо центру обертання і поворот відбувається за рахунок переміщення опорних елементів з зовнішньої сторони; опорні елементи внутрішні і зовнішні переміщуються в різних напрямках.

Аналіз характеру руху візка, при різних способах переміщення опорних елементів, дозволяє зробити висновок про працездатність чотирьохопорного крокуючого механізму при різних станах ґрунтової поверхні, але при цьому враховувалося, що глибина занурення опорних башмаків, викликана піддатливістю (тобто низькою несучою здатністю ґрунту), не повинна перевищувати величини ексцентриситету  $e$ .

Прямолінійний рух здійснювався двома способами, причому обидва способи практично рівноцінні з енергетичних витрат. Поворот ходового візка можна проводити так само двома способами, але енергетичні витрати для цих способів слід оцінити окремо.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** В результаті проведених експериментальних досліджень були отримані осцилограми, обробка яких дозволила встановити справжню величину і характер зміни параметрів в процесі переміщення моделі при різних режимах роботи, що представлено на графіку зміни електромеханічних параметрів.

Так, було встановлено довжину шляху, а також характер зміни лінійної швидкості моделі і частоти обертання приводного валу протягом циклу переміщення. Один цикл переміщення  $T_{\text{ц}}$  в середньому становить 4,75с, при коливаннях  $\Delta T_{\text{ц}} \approx \pm 0,5$  с, а середнє значення шляху за один цикл склало  $L_{\text{е}}=0,128$  м при теоретичному значенні  $L_{\text{т}}=0,140$  м, величина проковзування склала  $\Delta L=0,012$  м, тобто практично  $\Delta L=8,5$  % до розрахункового значення. При цьому значення величини  $\Delta L$ , при зміні ґрунтової підстави становило від  $\Delta L_{\text{min}}=4,7$  % (на твердій основі у вигляді статі із цементною крихти) до  $\Delta L_{\text{max}}=15,4$  % (на м'якій податливій підставі з піску). Швидкість пересування за один цикл переміщення змінювалася від  $V_{\text{max}}=1,4$  м/хв, при середньому значенні  $V_{\text{ср,max}}=1,357$  м/хв до  $V_{\text{min}}=0,4$  м/хв, при середньому значенні  $V_{\text{ср,min}}=0,38$ .

Середня лінійна швидкість моделі склала в середньому значенні  $V_{\text{ср,е}}=1,05$  м/хв при розрахунковому значенні швидкості в середньому значенні  $V_{\text{р}}=1,162$  м/хв, тобто  $\Delta V=V_{\text{р}}-V_{\text{ср,е}}=0,11$  м/хв,  $\Delta V=9,46$  %. Отже, різниця між розрахунковим і експериментальним значенням склала 9,4 %.

Аналіз наведених результатів експериментальних і розрахункових даних показує, що максимальне відхилення становить не більше 15 %, як для кроку, так і лінійної швидкості пересування.

Ця різниця викликана проковзуванням опорних башмаків по ґрунтовій підставі і величина її може змінюватися залежно від виду підстави, коефіцієнта тертя опор по ґрунту і це необхідно враховувати в розрахунках.

### Список літератури

1. **Марченко А. І., Буренко О. Г., Калашников О. Ю., Литвинов Л. І.** Крокуючий хід важких кар'єрних екскаваторів – лопат. Патент України №46019 кл. E02F9/04 опублікований 15.05.2002 бюл. №5.
2. **Машины для земляных работ: учебник для вузов / Ю.А. Ветров, А.А. Кархов, А.С. Кондра, В.П. Станевский;** под общ. ред. Ю.А. Ветрова. – 2-е изд., дораб. и доп. – К.: Вища шк., 1981. – 384с.
3. **Домбровский, Н.Г.** Экскаваторы. Общие вопросы теории, проектирования, исследования и применения / Н.Г. Домбровский. – М.: Машиностроение, 1969. – 318 с.
4. **Гальперин, М.И.** Строительные машины: учебник для вузов / М.И. Гальперин, Н.Г. Домбровский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1980. – 344с.: ил. – ISBN 000-000-000-000-0.
5. **Подэрни, Р.Ю.** Горные машины и комплексы для открытых работ: учеб. пособие: В 2 т. Т. 1. – 4-е изд., стер. – М.: Изд-во МГГУ, 2001. – 422 с.
6. **Проектирование машин для земляных работ: учеб. пособие для вузов / под ред. А.М. Холодова.** – Харьков: Вища шк., 1986. – 271с.:
7. **Шеффлер, М.** Основы расчета и конструирования подъемно-транспортных машин / М. Шеффлер, Г. Пайер, Ф. Курт; сокр. пер. с нем. – М.: Машиностроение, 1980. – 255с.: ил. – ISBN 000-000-000-000-0.
8. **Баловнев, В.И.** Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: учеб. пособие для вузов / В.И. Баловнев. – М.: Высш. школа, 1981 – 335с.9. **Крупко І. В.** Експериментальні дослідження чотирьохопорного ексцентрикового крокуючого механізму. Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ: 2009-№4 (32)-с. 75-81.

Рукопис подано до редакції 21.03.17