

Можливості шахтної пневмомережі дозволяють використовувати пневмокамеру максимальною площею 0,2-0,25 м² (тобто діаметром від 0,5 до 0,56 м) при частоті 20-25 Гц та амплітуді 5-10 мм. Щоби забезпечити повітрям порожнину такого об'єму, необхідні наступні величини довжини поршню або радіусу ротору: $l_n = 0,1-0,15$ м, $R = 0,05-0,075$ м.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Застосування пневматичних вібраційних приводів різних типів для інтенсифікації процесів випуску і доставки гірничої маси в умовах гірничих та гірничозбагачувальних підприємств дасть можливість суттєво підвищити продуктивність такого обладнання, а безударний режим роботи – його експлуатаційну надійність та довговічність.

Список літератури

1. **Бизов В.Ф.** Гірничі машини. Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво». Бібліотека гірничого інженера в 14 томах. Том IX / **В.Ф. Бизов, В.П. Франчук.** – Кривий Ріг: Мінерал, 2004. – 468 с.
2. **Громадський А.С.** Проектування, формування та використання комплексів гірничорудного механізованого обладнання: Навч. посібник / **А.С. Громадський, Ю.Г. Горбачов, О.С. Ліфенцов.** – Кривий Ріг: КНУ, 2017. – 229 с.
3. **Громадський А. С.** Проектування гірничих машин і комплексів для видобутку та переробки руд: Навч. посіб. для студ. вищих і серед. спец. навч. закладів / **А.С. Громадський, Ю.Г. Горбачов, А.О. Хруцький, О.С. Ліфенцов.** - Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2017. - 528 с.
4. Гірничі машини та обладнання для добування руд: навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів / **Ю.Г. Горбачов, Б.М. Гопкало, А.С. Громадський, О.С. Ліфенцов, М.С. Плішко, В.А. Семенов, А.О. Хруцький, Ю.І. Чумак, І.А. Шиповський** / Під заг. ред. **А.С. Громадського.** - Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ. – 2017. – 410 с.
5. **Потураев В.Н.** Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах / **В.Н. Потураев.** – Дн-ск: НГА України, 2002, - 190 с.
6. **Blechman I.I.** Revisiting the models of vibration screening process / **I.I. Blechman, L.I. Blechman, L.A. Vaisberg, K.S. Ivanov.** - Vibroengineering PROCEDIA, 2014, V. 3, PP. 169-174.
7. **Гончаревич И.Ф.** Вибротехника в горном производстве / **И.Ф. Гончаревич.** – М.: Недра, 1992, - 319 с.
8. **Учитель А.Д.** Вибрационный выпуск горной массы / **А.Д. Учитель, В.В. Гушин.** – М.: Недра, 1981. – 232 с.
9. Вибрационные машины для выпуска и доставки руды / **В.Н. Потураев, В.И. Дырда, О.К. Авдеев, И.К. Поддубный, В.П. Надутый, Н.Г. Кравченко, В.Н. Платонов, В.И. Финогеев.** – К.: Наукова думка, 1981. - 152 с.
10. **Каварма И.И.** Комплексы поточного транспорта для подземной разработки крепких руд / **И.И. Каварма, А.В. Бровко.** - М.: Недра, 1986. - 86 с.
11. **Горбачов Ю.Г.** Обгрунтування режиму роботи вібраційних приводів пневматичного типу / **Ю.Г. Горбачов** // Гірничий вісник. – 2017. – Вип. 102. – С. 139-143.
12. **Перельцайг М.И.** Исследование динамики ударного пневматического поршневого привода / **М.И. Перельцайг.** // В кн.: Анализ и синтез машин-автоматов - М.: Наука, 1965.
13. **Горбачев Ю.Г.** Исследование безударного диафрагменного пневмовибропривода / **Ю.Г. Горбачев** // Шахтный и карьерный транспорт. Вып. 10. – М.: Недра, 1986. – С. 151-157.
14. **Горбачев Ю.Г.** О расчете рабочих и конструктивных параметров безударного диафрагменного вибровозбудителя с дисковым пульсатором / **Ю.Г. Горбачев, Н.Ф. Василенко** // В кн.: Научно-технические проблемы подземной разработки железорудных месторождений. Сб. научных трудов - Кривой Рог: НИГРИ, 1985. - С. 62-65.
15. **Герц Е.В.** Расчет пневмоприводов / **Е.В. Герц, Г.В. Крейнин.** – М.: Машиностроение, 1975. – 273 с.

Рукопис подано до редакції 30.04.2020

УДК 622.271.4

А.О. ХРУЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., **Вік.А. ГРОМАДСЬКИЙ**, канд. техн. наук, ст.викл., **Ю.І. ЧУМАК**, ст.викл., **М.Д. СУЛІМОВСЬКИЙ**, магістрант
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КАР'ЄРНИХ ЕКСКАВАТОРІВ ТИПУ ЕКТ

Мета. Підвищення ефективності проєктованих екскаваторів за рахунок уточнення емпіричних формул для наближеного попереднього розрахунку основних параметрів екскаваторів з урахуванням функціональних критеріїв якості.

Методи досліджень включають узагальнення досвіду проєктування механічних кар'єрних екскаваторів великої потужності, експериментальних досліджень, математичне моделювання та аналіз параметрів процесу копання.

© Хруцький А.О., Громадський Вік.А., Чумак Ю.І., Сулімовський М.Д., 2020

Наукова новизна. Уточнено методику попереднього розрахунку основних параметрів екскаваторів на основі емпіричних ступеневих залежностей виду $y = aX_K^b$ урахуванням параметрів розширеного модельного ряду екскаваторів з місткістю ковша від 4 м³ до 30 м³ і функціональних критеріїв якості.

Практична значимість. Отримано розрахункові залежності наступних параметрів: маса екскаватору, маса ковша, розміри ковша (ширина, довжина, висота), радіус черпання, максимальна висота розвантаження, довжина стріли, максимальна висота черпання, висота напірного валу (висота забою), довжина рукояті, висота п'яти стріли, відстань від осі п'яти до осі обертання екскаватора, потужність мережевого двигуна, тривалість робочого циклу, діаметр головних блоків екскаватора, хід рукояті екскаватора, швидкість підйому ковша, швидкість напору.

Результати. Проаналізовано типорозмірний ряд сучасних базових моделей механічних кар'єрних екскаваторів типу «пряма лопата» з місткістю ковша від 4 м³ до 30 м³ для розробки м'яких, щільних і підірваних скельних порід, що випускаються серійно та можуть бути використані у залізрудних кар'єрах. Уточнено коефіцієнти пропорційності відомих емпіричних формул для наближеного попереднього розрахунку основних параметрів екскаваторів з урахуванням критеріїв якості. Визначено шляхи підвищення якості екскаваторів на основі запропонованих критеріїв. Встановлено, що екскаватор буде тим ефективніший, чим він матиме більшу продуктивність при розробці найбільш важких, з точки зору екскавації порід, меншу тривалість циклу екскавації за рахунок зменшення кута повороту платформи. Тобто розташування транспортних засобів ближче до забою та зменшення тривалості зачерпування, також потрібно зменшувати власну масу екскаватору, збільшувати найбільшу висоту копання та найбільший радіус копання.

Ключові слова: кар'єрний екскаватор, робоче обладнання, процес зачерпування, розрахункові залежності, функційний критерій.

doi: 10.31721/2306-5435-2020-1-107-132-138

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Кар'єрні механічні екскаватори типу пряма лопата залишаються основним виїмково-навантажувальним обладнанням на сучасних залізрудних кар'єрах попри широке запровадження потужних гідравлічних машин.

Визначальними параметрами, що характеризують умови роботи екскаваторів у забої, є стан, вид та розпушення підірваної скельної породи у забої, які є варійованими у межах бортів і уступів. Тому визначення основних параметрів на попередньому етапі проектування або модифікації екскаваторів є досить наближеним і ведеться за емпіричними формулами, які розроблені на основі існуючого парку машин, що випускаються серійно. Подібний підхід дозволяє швидко і достатньо просто визначити шукані параметри проекрованої машини, але вимагає постійного корегування наближених залежностей, до того ж потребує врахування функціональних критеріїв якості проєктованих екскаваторів задля підвищення ефективності нових машин.

Аналіз досліджень і публікацій. Механічні екскаватори типу пряма лопата є ефективним і широко застосовуваним виїмково-транспортуючим обладнанням для проведення екскавації попередньо розпушеної гірничої маси. Навіть при появі нових високо потужних гідравлічних екскаваторів, механічні моделі не втратили свої позиції за рахунок суттєвого недоліку сучасних гідравлічних екскаваторів - значного зростання експлуатаційних витрат, що, відповідно, істотно знижує економічний ефект від їх застосування вже через 6-7 років роботи цих машин [8].

Попереднє визначення параметрів проектованого екскаватора проводять виходячи з рекомендації і емпіричних залежностей, розроблених раніше, що у 60-ті роки. В основному ці залежності виведені із закону подібності або є результатом перекладання на математичну мову тих напрацювань в частині конструювання та експлуатації екскаваторів, які були накопичені у самому конструкторському бюро або відділі [10].

Відомі роботи [1, 8, 11, 12] містять декілька варіантів емпіричних залежностей для попереднього визначення основних параметрів екскаваторів, що ґрунтуються на характеристиках відомих моделей екскаваторів.

Слід виокремити роботу [10], у якій наведено докладний аналіз відомих підходів до попереднього розрахунку основних параметрів екскаваторів та запропоновано два підходи до формування залежностей з визначення лінійних параметрів робочого обладнання екскаваторів на основі коефіцієнтів, що оцінюють функціональні параметри машини. Перша залежність має вид

$$\text{Параметр} = \text{Коефіцієнт пропорційності} \times \text{Базовий параметр.}$$

Друга залежність має вид

$$\text{Параметр} = \text{Коефіцієнт пропорційності} \times \text{Базовий параметр}^{\text{коефіцієнт ступеня}}.$$

У якості базового параметру автори рекомендують використовувати ємність ковша або вагу екскаватору.

До того ж автори [10] вказують і на суттєвий недолік таких спрощених емпіричних залежностей, не зважаючи на їх розповсюдженість, який полягає у тому, що для визначення актуальних параметрів машини, самі залежності потребують постійного уточнення при випуску нових удосконалених та модифікованих моделей екскаваторів.

Як показав аналіз залежностей з джерел [4, 8, 10, 11,12], найкращою функцією апроксимації параметрів екскаваторів є залежність виду

$$\text{Параметр}(E_K) = a \times E_K^b, \quad (1)$$

де E_K – ємність ковша; a, b – коефіцієнти пропорційності.

Важливим питанням є визначення продуктивності кар'єрних екскаваторів, особливо експлуатаційної. Автори у своїй роботі [9] наводять результати аналізу з визначення експлуатаційної продуктивності кар'єрних екскаваторів, у яких зазначено, що для точного її визначення необхідним є урахування якості підготовки гірської маси і визначенням технологічних параметрів процесу екскавації, кінематичний і динамічний аналіз механізмів робочого обладнання, аналіз взаємозв'язків між режимом роботи головних механізмів (підйому і напору) та технологічними параметрами.

Слід також відзначити необхідність відповідності розрахованих параметрів функціональним критеріям якості, що наведені та проаналізовані у роботі [1]. Автори визначили основні показники, що характеризують процес екскавації гірської маси кар'єрним одноківшевим екскаватором, а саме потужність приводу, місткість ковша, маса екскаватора, питома зусилля копання, тривалість робочого циклу, строк експлуатації, найбільша висота та найбільший радіус копання.

На базі цих показників автори [1] визначили 5 функціональних критеріїв якості, що визначають технічний рівень кар'єрних одноківшових екскаваторів, а саме встановлений ресурс екскаватору, питома найбільша висота копання, питома найбільший радіус черпання, питома зусилля копання екскаватора, питома енергоємність, питома металоємність екскаватора.

Постановка задачі. Оскільки на сьогодні розроблено механічні екскаватори типу пряма лопата місткістю ковша до 30 м^3 , тому виникає нагальна потреба в уточненні відомих емпіричних формул для наближеного попереднього розрахунку основних параметрів екскаваторів з урахуванням критеріїв якості.

Викладення матеріалу та результати. На першому етапі проаналізуємо парк сучасних механічних кар'єрних екскаваторів типу пряма лопата, що випускаються серійно та можуть бути використані у залізничних кар'єрах.

На сьогодні серійно випускаються наступні базові та модифіковані моделі кар'єрних механічних лопат ЕКГ-4У, ЕКГ-4Ус, ЕКГ-5А, ЕКГ-5Д, ЕКГ-5У, ЕКГ-6,3У, ЕКГ-6,3Ус, ЕКГ-8І, ЕКГ-8У, ЕКГ-8Ус, ЕКГ-10, ЕКГ-12, ЕКГ-12У, ЕКГ-12Ус, ЕКГ-12,5, ЕКГ-15, ЕКГ-8,3, ЕКГ-17, ЕКГ-20А, ЕКГ-20, ЕКГ-30 з місткістю від 4 до 30 м^3 для розробки м'яких, щільних і підірваних скельних порід [2, 3, 5-8, 10]. Для уточнення емпіричних залежностей поміж наведених моделей виокремимо базові ЕКГ-5А, ЕКГ-8І, ЕКГ-10, ЕКГ-12, ЕКГ-12,5, ЕКГ-15, ЕКГ-20, ЕКГ-30.

Основним параметром, що визначає конструкційні параметри екскаватора прийнято вважати ємність ковша $E_K, \text{ м}^3$, яка за наведеним вище типорозмірним рядом базових моделей екскаваторів має наступний параметричний ряд: 4, 5, 8, 10, 12, 12,5, 15, 17, 20, 30.

Використовуючи залежності, наведені у роботах [8, 10, 11, 12,15], та порівнюючи технічні характеристики базових моделей екскаваторів [2, 3, 8, 10, 12, 14,16], визначено коефіцієнти пропорційності (табл.1) для нових залежностей виду (1).

Окремо розглянемо тривалість робочого циклу і хід рукояті екскаватора.

Згідно [8, 10] тривалість робочого циклу при куті повороту платформи екскаватора, що дорівнює 90° становить, с

$$t_u = 21,94 + 0,01 \times m_e, \quad (2)$$

де m_e - маса екскаватора, т.

З іншого боку, згідно [8], тривалість робочого циклу при куті повороту платформи екскаватора може визначатися так, с

$$t_u = \frac{67 \times d_{CP.P}^2}{E_K} + \frac{E_K}{0,11 \times E_K + 0,6} + 2 \times 0,5 \times \sqrt{\frac{b_{II}^2 \times \sqrt{(35 \times E_K + 0,42 \times E_K^2)^2}}{E_K}} + 3, \quad (3)$$

де $d_{CP,P}$ - середня шматковатість підірваної гірської маси, см; b_{Π} - кут повороту платформи екскаватора при робочому циклі, рад.

У той же час, згідно [13], час повороту екскаватора до місця розвантаження або до забою визначається так, с

$$t_{\Pi} = \frac{67 \times d_{CP,P}^2}{E_{\kappa}} + \frac{E_{\kappa}}{0,11 \times E_{\kappa} + 0,6} + 2 \times 0,5 \times \sqrt[3]{\frac{b_{\Pi}^2 \times (35 \times E_{\kappa} + 0,42 \times E_{\kappa}^2)^{1,67}}{E_{\kappa}}} + 3. \quad (4)$$

Таблиця 1

Встановлені залежності виду $\Pi = a \times E_{\kappa}^b$

Параметр	Позн.	Од.вим.	a	b
Маса екскаватора	m_E	т	46,5	1
Маса ковша	m_K	т	1,84	1
Ширина ковша	b_K	м	0,7	0,68
Довжина ковша	w_K	м	1,28	0,38
Висота ковша	h_K	м	1,07	0,53
Радіус черпання	$R_{q_{max}}$	м	10,6	0,27
Максимальна висота розвантаження	$H_{P_{max}}$	м	5,8	0,2
Довжина стріли	L_C	м	8,6	0,25
Максимальна висота черпання	$H_{q_{max}}$	м	7,7	0,265
Висота напірного валу (висота забою)	H_q	м	5	0,285
Довжина рукояті	L_P	м	6,65	0,245
Висота п'яти стріли	$H_{\Pi C}$	м	3	0,18
Відстань від осі п'яти до осі обертання екскаватора	T	м	1,3	0,31
Потужність мережевого двигуна	N_{MD}	кВт	19	1,51
Діаметр головних блоків екскаватора	$D_{ГБ}$	м	0,59	0,42
Швидкість підйому ковша	$u_{\Pi L}$	м/с	0,69	0,16
Швидкість напору	u_{HL}	м/с	0,43	0,14

Порівняння реальної та тривалості циклу, визначеною за залежностями (2 - 4), наведено на рис.1, з якого видно з рис. 1, найкраще реальним параметрам відповідає залежність за формулою (4), що досить точно описує тривалість робочого циклу.

Хід рукояті екскаватора визначається з урахуванням геометрії робочого обладнання екскаватора, м

$$DL_P = R_{q_{max}} - (T + 0,5 \times L_C \times \cos(g) + H_q), \quad (5)$$

де g - кут нахилу стріли.

Проведемо аналіз екскаваторів с точки зору функціональних критеріїв, наведених у роботі [1], що визначають рівень якості та ефективності тієї чи іншої моделі екскаватора, яка зводиться до 5 основних функціональних показників.

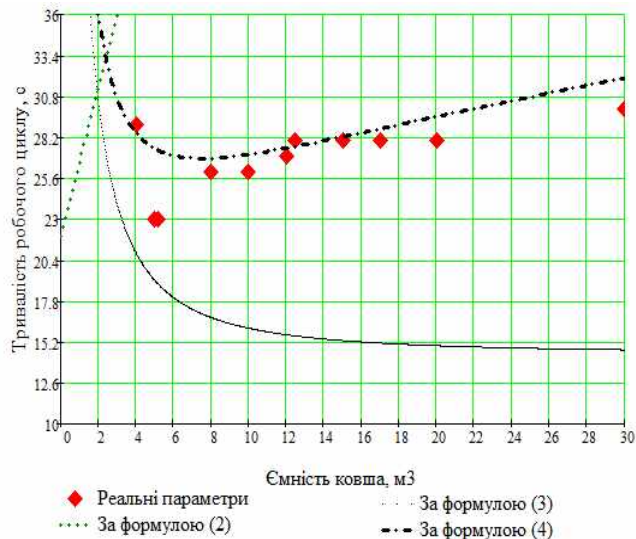
Як зазначає автор [1], у якості критеріїв беруться зворотні величини параметрів екскаваторів, зі зменшенням яких погіршується якість машини, тобто, чим якісніше машина, тим меншим повинно бути значення такого критерію.

Рис 1. Залежність тривалості робочого циклу від ємності ковша при $d_{CP,P} = 0,8$ м

Комплекс функціональних критеріїв якості екскаваторів, згідно [1]

$$\begin{cases} K_1 = N_{np} / (I \times \Pi); \\ K_2 = m_e / (I \times \Pi); \\ K_3 = \sqrt[3]{m_e} / (I \times H_{q_{max}}); \\ K_4 = \sqrt[3]{m_e} / (I \times R_{q_{max}}); \\ K_5 = E_{\kappa} / (I \times P_{кон} \times H_{q_{max}}); \end{cases} \quad (6)$$

де $I = \Pi \times K_F$ – функціональний критерій оцінки якості, кВт [1]; Π - розрахунково-



теоретична продуктивність екскаватора, м³/год [4, 8, 10, 12]; K_F - питомий опір копанню, МПа [10]; $N_{пр}$ - потужність мережевого приводу, кВт; E_k - місткість ковша, м³; m_e - експлуатаційна маса екскаватора з робочим обладнанням, т; $R_{ч\max}$ - найбільший радіус копання, м; $H_{ч\max}$ - найбільша висота копання, м; $P_{кон}$ - максимальне зусилля при копанні, Н [8, 10, 12].

Залежності для визначення потужності мережевого приводу $N_{пр}$, експлуатаційної маси екскаватора з робочим обладнанням m_e , розрахункової тривалості циклу $t_{ц}$, найбільшого радіусу копання $R_{ч\max}$, найбільшої висоти копання $H_{ч\max}$ були розглянуті і уточнені вище (див. табл. 1).

Визначимо умови, за яких функціональні критерії якості набуватимуть мінімальних (найкращих) значень:

$$\begin{aligned} & K_1 \otimes \min; K_2 \otimes \min; K_3 \otimes \min; K_4 \otimes \min; K_5 \otimes \min; \\ & N_{пр} \otimes \min; l \otimes \max; l \otimes \max; K_F \otimes \max; E_k \otimes \max; \\ & t_{ц} \otimes \min; m_e \otimes \min; H_{ч\max} \otimes \max; R_{ч\max} \otimes \min; P_{кон} \otimes \max. \end{aligned}$$

Проаналізуємо ці вимоги. На початку виокремимо коефіцієнт K_F , який залежить не від параметрів екскаватора, а від властивостей гірської породи і входить до визначення першого функціонального критерію l . Перший функціональний критерій l можна збільшити, збільшивши продуктивність. Отже, екскаватор буде тим кращий, чим він матиме більшу продуктивність при розробці найбільш важких з точки зору екскавації порід.

Місткість ковша є головним параметром екскаватора, від якого залежать інші параметри. Вона визначається місткістю існуючих транспортних засобів (автосамоскидів, вагонів та ін.) або крупністю підірваної гірничої маси.

Тривалість циклу екскавації залежить від швидкості виконання технологічних операцій, таких як зачерпування, поворот і розвантаження. Остання операція є сталою практично для усіх конструкцій. У свою чергу швидкість зачерпування і повороту залежить від потужності приводів цих механізмів. Тривалість повороту екскаватора зменшувати дуже складно, оскільки поворотна платформа з навантаженим ковшем мають дуже велику інерцію, а, отже, зменшення можливе лише при зменшенні кута повороту платформи, тобто розташування транспортних засобів ближче до забою, що є технологічними особливостями відробітку уступу.

Збільшення потужності приводу механізму підйому і напору також може негативно вплинути на загальну споживану потужність екскаватору, що є не прийнятним, оскільки ці потужності, як було зазначено вище повинні зменшуватися. До того ж необхідно збільшувати максимальне зусилля підйому і напору. Таке збільшення зусиль без збільшення вживаної потужності електроприводів можливе при зменшенні власної ваги рукояті та ковша, вибору оптимальної довжини рукояті та розташування осі напірного валу. Для покращення значень критеріїв якості потрібно зменшувати власну масу екскаватору, збільшувати найбільшу висоту копання та найбільший радіус копання.

Отже робимо висновок, що найкращим шляхом покращення критеріїв якості екскаватора є мінімізація часу зачерпування шляхом збільшення швидкості руху рукояті і максимального зусилля на зубах ковша без збільшення потужності привода, зменшення власної маси екскаватору, збільшенні найбільшої висоти копання та найбільшого радіусу копання.

Аналізуючи значення функціональних критеріїв відомих базових конструкцій екскаваторів, наведені на рис 2, можна зробити наступні висновки. Згідно з розрахованими функціональними критеріями, найкращими є базові моделі екскаваторів з більшою місткістю ковша. Усі критерії, це підтверджують. Попри це, деякі моделі екскаваторів з меншою місткістю ковша демонструють добрі показники якості. Наприклад, екскаватор ЕКГ-12,5 має добрий показник енергоємності, екскаватори ЕКГ-10 та ЕКГ-17 мають добрі показники металоємності, ніж сусідні моделі з більшою місткістю ковша.

Додатково розраховано функціональні критерії якості екскаваторів на основі параметрів, що визначені за пропонуваними залежностями (див табл.1). Встановлено, що майже в усіх випадках критерії на основі параметрів, розрахованих за пропонуваними уточненими залежностями, є такими ж або навіть кращими за критерії на основі реальних параметрів базових моделей екскаваторів.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Уточнено методику попереднього розрахунку основних параметрів екскаваторів на основі емпіричних ступеневих залежностей виду

$P=a\mathcal{E}_K^b$ за допомогою аналізу параметрів розширеного модельного ряду екскаваторів з місткістю ковша від 4 м³ до 30 м³, що випускаються серійно.

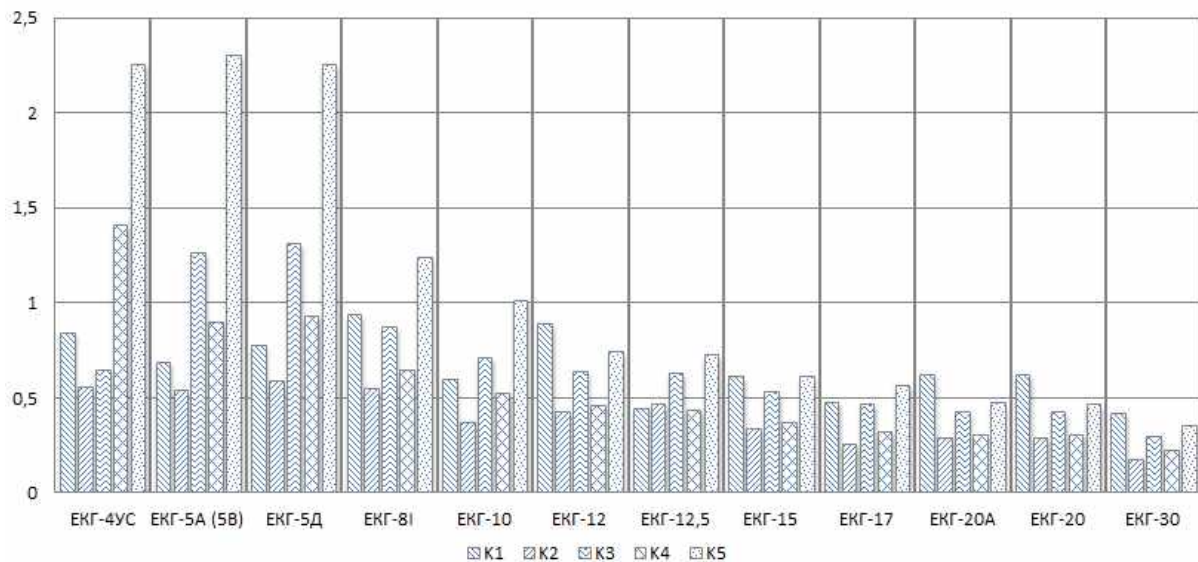


Рис 2. Функціональні критерії базових моделей екскаваторів

Встановлено, що з точки зору функціональних критеріїв якості, екскаватор буде тим ефективніший, чим він матиме більшу продуктивність при розробці найбільш важких з точки зору екскавації порід, меншу тривалість циклу екскавації за рахунок зменшення кута повороту платформи. Тобто необхідне розташування транспортних засобів ближче до забою та зменшення тривалості зачерпування. До того ж потрібно зменшувати власну масу екскаватору, збільшувати найбільшу висоту копання та найбільший радіус копання.

Встановлено, що з точки зору функціональних критеріїв якості, найкращими є базові моделі екскаваторів з більшою ємністю ковша. Попри це деякі моделі екскаваторів з меншою місткістю ковша демонструють добрі показники якості. Наприклад, екскаватор ЕКГ-12,5 має добрий показник енергоємності, екскаватори ЕКГ-10 та ЕКГ-17 мають добрі показники металоємності, ніж сусідні моделі з більшою місткістю ковша. Проведено порівняння функціональних критеріїв якості екскаваторів визначених на основі реальних параметрів та критеріїв, що визначені на основі уточнених залежностей та встановлено, що пропонувані залежності у переважній більшості випадків дозволяють визначити параметри екскаваторів, як свідчать визначені критерії якості, які забезпечують більшу ефективність розроблюваних машин.

Список літератури

1. Воронов Ю.Е., Зыков П.А. Обоснование и определение показателей технического уровня карьерных одноковшовых экскаваторов // Вестник Кузбасского гос. тех. унив., 2011.- №2.- С.67-70
2. Громадский А.С. Снижение динамических нагрузок карьерных экскаваторов: монография. - Кривой Рог : ИЦ КТУ, 2008. - 281 с.
3. Громадский А.С. Снижение динамических нагрузок карьерных экскаваторов. 2-е изд., перераб. и уточн. – Саарбрюккен : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 295 с.
4. Дроздова Л.Г., Курбатова О.А. Одноковшовые экскаваторы: конструкция, монтаж и ремонт: учеб. пособие.- Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007.-235 с.
5. Ефимов В.Н., Цветков В.Н., Садовников Е.М. Карьерные экскаваторы. Справочник рабочего. — Москва: Недра, 1994. — 381 с
6. Замышляев В.Ф., Рисухин В.И., Шешко Е.Е. Эксплуатация и ремонт карьерного оборудования. Учеб. пособие для вузов. — М.: Недра, 1991. — 285 с.
7. Кантович Л.И., Гетопанов В.Н. Горные машины.-Москва: Недра, 1989. — 304 с.
8. Квагинидзе В.С., Козовой Г.И., Чакветадзе Ф.А., Антонов Ю.А., Корецкий В.Б. Экскаваторы на карьерах. Конструкции, эксплуатация, расчет: Учебное пособие. — М.: Издательство «Горная книга», 2011. —409 с.
9. Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Файзуллин Р. Т., Шестаков В. С. Оценка эксплуатационной производительности карьерного экскаватора // Известия Уральского государственного горного университета № 4(36), 2014.- С.29-32

10. **Маковеев А.В.** Обоснование параметров карьерных экскаваторов в зависимости от условий эксплуатации. Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. Наук.- Екатеринбург: ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», 2008. -19с

11. **Подэрни Р.Ю.** Горные машины и комплексы для открытых горных работ: Учебник для вузов - 2-е изд., перераб. и доп.- м.:Недра, 1985.- 544 с.

12. **Подэрни Р.Ю.** Механическое оборудование карьеров: Учебник для вузов.-6-е изд., перераб. и доп.-М.: Изд-во МГГУ, 2007.-680 с.

13. **Ташкинов А.С., Сысоев А.А., Ташкинов И.А.** Сравнительная оценка производительности и карьерных экскаваторов при разработке взорванных пород // Вестн. КузГТУ. — 2009. — № 4 С.17-20.

14. **Хмызников К.П., Лыков Ю.В.** Механическое оборудование карьеров. Одноковшовые экскаваторы. Учебное пособие. — СПб.: СПГГИ, 2007. — 41с

15. **Шемякин С. А., Лещинский А. В.** Расчет землеройных машин : учеб. пособие. - Хабаровск : Изд-во тихоокеан. гос. ун-та, 2014.- 55 с.

16. **Штейнцайг В.М.** Интенсификация открытых горных работ с применением мощных карьерных одноковшовых экскаваторов. Научное издание. -М.: Наука,1990.-142с

Рукопис подано до редакції 13.05.2020

УДК 628.147.23:622.453

А.О. ГУРІН, д-р техн. наук, проф., В.А. ШАПОВАЛОВ, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

СПОСІБ ОЧИСТКИ ВІДКЛАДЕНЬ НА СТІНКАХ ПОВІТРОПРОВОДІВ

Мета. Метою даної роботи є підвищення надійності та ефективності роботи систем аспірації та вентиляції шляхом очистки відкладень на стінках повітропроводів. Повітропровідні системи є невід'ємною частиною інфраструктури підприємств різних галузей, які мають розвинену мережу трубопроводів систем аспірації і вентиляції. Умови забезпечення надійної та ефективної роботи цих систем визначається, переважно, станом їх внутрішніх поверхонь трубопроводів і устаткування. Процеси корозії і утворення відкладень на внутрішніх поверхнях трубопроводів незворотні і часто призводять до порушення технологічного процесу і параметрів роботи обладнання, а в окремих випадках – до обриву повітропроводу та його падіння на обладнання або людей. Навіть найдосконаліші початкові технічні характеристики обладнання систем аспірації або вентиляції вказують лише на технічні можливості роботи системи. Надійна та ефективна робота систем аспірації і вентиляції може бути забезпечена після впровадження способу очистки відкладень на стінках повітропроводів, за допомогою якого легкого і швидкого очищуються поверхні і усуваються причини порушення параметрів роботи цих систем.

Методи дослідження. Під час вивчення, систематизації та узагальнення способів очистки трубопроводів використано аналіз досліджень і публікацій, аналіз вітчизняного і закордонного досвіду, цільове натурне обстеження повітропроводів систем аспірації та вентиляції, проведені експериментальні дослідження.

Наукова новизна. Експериментально доведена можливість застосування ударних повітряних хвиль, утворених електричними розрядами від джерел високовольтної напруги, для руйнування і відділення іржі та відкладень від стінок повітропроводів.

Практична значимість. Використання запропонованого способу очистки відкладень на стінках повітропроводів підвищує надійність і ефективність роботи систем аспірації та вентиляції в різних промислових галузях, а також збільшує технологічні можливості, оскільки дозволяє проводити очищення трубопроводів складної конфігурації.

Результати. Знайдено рішення поширеної проблеми сучасного промислового виробництва і запропоновано спосіб очистки відкладень на стінках повітропроводів систем аспірації і вентиляції.

Ключові слова: трубопроводи, корозія, відкладення, очистка.

doi: 10.31721/2306-5435-2020-1-107-138-142

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Характерною особливістю технологічних процесів сучасних промислових виробництв є наявність значної кількості апаратів, ємностей, бункерів, трубопроводів та іншого обладнання, працездатність якого визначається станом внутрішніх поверхонь. В процесі експлуатації устаткування і трубопроводів, відбувається неминуче забруднення їх внутрішніх поверхонь відкладеннями.

Більшість промислового устаткування і трубопроводів виготовлені з металу. Основною причиною пошкодження внутрішніх поверхонь, в більшості випадків, є відкладення і корозія (корозійне та ерозійне зношення), стійкість до яких і визначає терміни їх експлуатації.