

**Комиссаров Анатолий Павлович**<sup>1</sup>, доктор техн. наук, профессор, **Хорошавин Сергей Александрович**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, **Летнев Константин Юрьевич**<sup>2</sup>, ведущий инженер, старший преподаватель

<sup>1</sup>Уральский государственный горный университет,  
620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

<sup>2</sup> Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

E-mail: K.Y.Letnev@urfu.ru

## **ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ КАНАТОВ ПОДЪЕМНОГО И НАПОРНОГО МЕХАНИЗМОВ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА**

**Аннотация:** Режимы нагружения канатов подъемного и напорного механизмов карьерного экскаватора с рабочим оборудованием прямая лопата характеризуются, как показывают результаты экспериментальных исследований, резкими колебаниями усилий и скорости. Выявлены особенности функционирования главных приводов карьерного экскаватора в процессе экскавации горных пород при совместном действии механизмов (подъема и напора). Показано, что при совместном действии механизмов образуются двухкривошипно-рычажный передаточный механизм, соединяющий главные механизмы с ковшом, и общий передаточный механизм главных приводов, включающий главные механизмы и рычажный механизм. Установлено, что начальным звеном общего передаточного механизма, координаты которого определяют положения всех звеньев механизма относительно стойки (стрелы), является звено «рукоять-ковши». Показано, что одной из причин, обуславливающих режимы нагружения канатов, является несогласованность рабочих движений подъема и напора при совместном действии главных механизмов в процессе экскавации горных пород. Получены зависимости для определения кинематических передаточных функций рычажного механизма, т. е. соотношений между скоростями подъема и напора и скоростью копания при перемещении ковша (вершины режущей кромки) по заданной траектории в процессе отработки забоя. Установлено, что в этом случае режимные параметры главных механизмов (скорости и усилия подъема и напора) определяются в зависимости от положения ковша в рабочей зоне экскаватора. Определены соотношения между параметрами, характеризующими положение ковша в забое, и режимными параметрами главных механизмов. Разработана методика формирования траектории перемещения ковша при отработке экскаваторного забоя, основанная на модели единичного шага перемещения ковша. Предложенная методика позволит обеспечить координацию работы главных механизмов при их совместном действии в процессе экскавации горных пород. На основе кинематического и силового анализа рычажного механизма получены зависимости для определения режимных параметров главных механизмов (усилий, скоростей и мощностей сил) при заданных энергосиловых параметрах, реализуемых на ковше. Разработана имитационная модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием прямая лопата карьерного экскаватора. Результаты исследования могут быть использованы при разработке системы управления главными приводами.

**Ключевые слова:** главные исполнительные механизмы карьерного экскаватора, рычажный механизм, режимные параметры главных механизмов, имитационная модель процесса экскавации горных пород.

**Информация о статье:** принята 12 октября 2020 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-22-27

Режимы работы двигателей главных механизмов карьерного экскаватора характеризуются резкими колебаниями нагрузок и скоростей, что обуславливается структурной неоднородностью горных пород и анизотропностью их физико-механических свойств, качеством подготовки.

Существенно влияние на режимы работы двигателей оказывает также и степень согласованности (или противодействия) режимных параметров главных механизмов при их совместной работе в процессе экскавации.

В технической литературе [1 – 7] по проблеме управления рабочим процессом карьерного экскаватора не рассматриваются вопросы, касающиеся согласования режимных параметров главных механизмов приводятся лишь сведения о режимах противодействия механизмов.

Установление взаимосвязей между кинематическими параметрами главных механизмов при перемещении ковша в процессе отработки забоя в результате исследования кинематических и динамических свойств рычажного механизма позволит

повысить качество управления рабочим процессом карьерного экскаватора.

Цель исследования – повышение эффективности функционирования карьерного экскаватора.

Задачи работы:

- определение режимных параметров главных механизмов при перемещении ковша по заданной траектории;

- установление взаимосвязей между энергосиловыми параметрами, реализуемыми на ковше (вершине режущей кромки зубьев), и режимными параметрами главных механизмов.

Объектом исследования является рычажный механизм, образующийся при совместной работе главных механизмов (подъемного и напорного) в процессе экскавации и соединяющий главные механизмы с ковшом.

Предмет исследования – изучение кинематических свойств механизма рабочего оборудования.

Методы исследования – методы теории машин и механизмов, математическое моделирование.

Процесс экскавации заключается в перемещении ковша по эквидистантным траекториям с отделением слоя (стружки) породы. При этом ковш является ведущим звеном всего передаточного механизма, включающего главные механизмы и механизм рабочего оборудования, т. е. в процессе экскавации происходит «обратимость» главных механизмов (они становятся ведомыми).

Особенностью процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием прямая лопата карьерного экскаватора является образование передаточного рычажного механизма, состоящего из ведомых звеньев главных механизмов и элементов рабочего оборудования и преобразующего движения ведомых звеньев главных механизмов в движение (перемещение) ковша.

Передаточный рычажный механизм имеет две степени свободы. В механизмах с двумя степенями свободы (двумя обобщенными координатами) могут быть или два начальных звена, если за обобщенные координаты приняты координаты двух звеньев, или одно начальное звено, если оно образует со стойкой двухподвижную пару.

За начальное звено рычажного механизма принимается звено «рукоять-ковш» и, соответственно, при этом положения всех звеньев как передаточного механизма, так и главных механизмов определяются положением звена «рукоять-ковш».

Таким образом, в процессе экскавации образуется общий передаточный механизм главных приводов, включающий главные механизмы и передаточный механизм.

Рычажные механизмы отличаются от других механизмов тем, что они обладают «индивидуальными» кинематическими свойствами, которые определяются структурной схемой механизма, видом кинематических связей между звеньями и геометрическими параметрами (длинами) звеньев.

Основной характеристикой рычажного механизма являются кинематическая и динамическая передаточные функции (передаточные отношения), определяющие зависимости между

кинематическими и динамическими параметрами ведомого и ведущего звеньев.

Для определения скоростей рабочих движений (подъема и напора) необходимо задать законы движения начального звена, т. е. траекторию перемещения ковша (вершины режущей кромки) и скорость копания, а также размеры звеньев передаточного механизма.

На основе математической модели передаточного механизма получены выражения для определения скоростей рабочих движений (подъема и напора), обеспечивающих перемещение ковша по заданной траектории.

Зависимости для определения кинематических и динамических передаточных функций (соотношений между режимными параметрами главных механизмов и энергосиловыми параметрами, реализуемыми на режущей кромке ковша) составят в общем виде:

$$\begin{aligned} \text{КПФ} &= f_1(X_k, Y_k, l_i, \psi, \alpha_i); \\ \text{ДПФ} &= f_2(X_k, Y_k, l_i, \psi, \alpha_i, G_i, P_{01}, P_{02}), \end{aligned}$$

где  $X_k$  и  $Y_k$  – координаты вершины режущей кромки ковша;  $l_i$  – длины звеньев;  $\psi$  – угол наклона касательной к траектории перемещения ковша в точке К;  $\alpha_i$  – углы, определяющие положения звеньев;  $G_i$  – силы тяжести звеньев механизма;  $P_{01}$  и  $P_{02}$  – касательная и нормальная составляющие силы сопротивления породы копанию.

На основе кинематического и силового анализа рычажного механизма получены зависимости для определения режимных параметров главных механизмов (усилий, скоростей и мощностей сил) при заданных энергосиловых параметрах, реализуемых на ковше.

В качестве метода исследований принят вычислительный эксперимент. Для алгоритмических моделей экспериментирование с помощью модели тождественно нахождению значений выходных характеристик при заданных значениях входных переменных и постоянных аргументов, т. е. подстановке в алгоритм конкретных чисел и расчету по формулам. Перебор вариантов решений производится с заданным шагом варьирования. В ходе просчета и калибровки математической модели накапливается информация о функциональных возможностях различных структурных схем рабочего оборудования.

Разработана имитационная модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием прямая лопата карьерного экскаватора, заключающаяся в многократном воспроизведении функционирования (поведения) исследуемой системы на основе математической модели. Результаты имитационного моделирования представляют собой набор величин, характеризующих исследуемый процесс.

Имитационная модель представляет собой алгоритм цифрового управления двигателями главных механизмов при перемещении ковша по заданной траектории.

Вычислительный эксперимент выполнен для экскаватора ЭКГ-20А производства ПАО «Уралмашзавод».

Таблица. Режимные параметры главных механизмов экскаватора ЭКГ-20А

№№	Исходные данные			Расчетные данные						
	$X_k$ , м	$Y_k$ , м	$G_{к+п}$ , кН	$V_p$ , м/с	$V_n$ , м/с	$F_p$ , кН	$F_n$ , кН	$P_p$ , кВт	$P_n$ , кВт	$P_{\Sigma}$ , кВт
Начальная траектория ( $X_{к0} = 9$ м)										
1	9	0	400	0,95	-0,87	290	-630	275	550	825
2	10,15	2	435	0,92	-0,81	350	-620	320	505	825
3	11,3	4	470	0,84	-0,70	420	-605	350	420	770
4	12,45	6	500	0,70	-0,51	520	-580	360	290	650
5	13,6	8	540	0,52	-0,19	700	-555	370	110	480
6	14,75	10	575	0,50	0,19	975	-590	490	110	600
7	15,9	12	610	0,66	0,50	1270	-700	835	350	1185
Средняя траектория ( $X_{к0} = 12$ м)										
8	12	0	400	0,88	-0,64	610	-310	530	200	730
9	13,15	2	435	0,83	-0,51	640	-300	530	150	680
10	14,3	4	470	0,76	-0,34	680	-280	515	95	610
11	15,45	6	500	0,70	-0,12	710	-230	500	30	530
12	16,6	8	540	0,66	0,11	780	-155	515	20	535
13	17,75	10	575	0,65	0,32	830	-40	540	10	550
14	18,9	12	610	0,62	0,50	885	140	550	70	620
Конечная траектория ( $X_{к0} = 15$ м)										
15	15	0	400	0,79	-0,39	1020	110	800	44	844
16	16,15	2	450	0,73	-0,25	1060	150	774	38	812
17	17,3	4	500	0,68	-0,09	1100	210	740	20	760
18	18,45	6	550	0,61	0,07	1150	320	700	24	724
19	19,6	8	600	0,53	0,23	1210	480	644	113	757
20	20,75	10	650	0,42	0,38	1290	710	546	269	815
21	21,9	12	700	0,27	0,50	1420	1030	377	515	892

Исходные данные для расчета:

- размеры рабочей зоны экскаватора;
- геометрические (линейные и угловые) размеры элементов рабочего оборудования;
- массы элементов рабочего оборудования;
- сила сопротивления породы копанью (касательная и нормальная составляющая).

В таблице приведены расчетные значения режимных параметров главных механизмов – скоростей подъема  $V_p$  и напора  $V_n$ , усилий подъема  $P_p$  и напора  $P_n$ , мощностей усилий подъема  $P_p$  и напора  $P_n$ , а также суммарной мощности  $P_{\Sigma} = P_p + P_n$ .

Из приведенных расчетных данных следует, что усилия подъема и напора изменяются в широком диапазоне и зависят, в основном, от вылета рукоятки и высоты копания.

Так, при минимальном вылете рукоятки усилия подъема и напора существенно возрастают при увеличении высоты копания. Рост усилий подъема и напора в этом случае обусловлен уменьшением плеча действия усилия подъема относительно оси стойки при увеличении высоты копания и, соответственно, возрастанием, как усилий подъема, так и усилий напора при стабильном уровне внешних нагрузок – сил тяжести элементов рабочего оборудования и силы сопротивления грунта копанью.

При увеличении вылета рукоятки усилие подъема возрастает при увеличении высоты копания. Усилие напора уменьшается при увеличении высоты копания.

При перемещении ковша по средней и конечной траекториям характер изменения усилий подъема и

напора в зависимости от высоты копания кардинально меняется: усилие подъема с ростом высоты копания резко снижается и практически равна нулю при минимальной высоте копания ввиду минимального значения скорости подъема, а усилие напора возрастает до максимального значения.

Таким образом, соотношения между усилиями подъема и напора зависит от положения ковша в рабочей зоне экскаватора и определяется степенью согласованности рабочих движений (подъема и напора) и перемещения ковша.

В результате вычислительного эксперимента производится расчет режимных параметров главных механизмов, при которых реализуется перемещение ковша с требуемыми энергосиловыми параметрами, реализуемыми на режущей кромке ковша.

### Заключение

Таким образом, на основе имитационной модели процесса экскавации можно определить для любой точки в рабочей зоне экскаватора режимные параметры главных механизмов при заданных энергосиловых параметрах, реализуемых на ковше, и при заданном угле касательной к траектории перемещения ковша.

Предложенная методика расчета режимных параметров (скоростей подъема и напора) главных механизмов карьерных экскаваторов посредством вычислительного эксперимента позволяет определить фактические значения скоростей рабочих движений в конкретных горнотехнических условиях работы (размеры забоя, вид траекторий перемещения ковша и др.), обеспечить согласование режимных параметров главных механизмов, координацию рабочих движений механизмов и перемещение ковша.

Установление взаимозависимостей между режимными параметрами главных механизмов в процессе экскавации может служить основой для разработки адаптивной системы цифрового управления приводами главных механизмов, обеспечивающей за счет согласования скоростей рабочих движений в конкретных условиях эксплуатации повышение эффективности функционирования экскаватора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаков С. Е., Певзнер Л. Д. Алгоритмизация управления движением ковша экскаватора в режиме черпания с применением нечеткой логики // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 9. С. 8 – 17.
2. Дружинин А. В. Повышение качества управления одноковшовыми экскаваторами на основе мультиагентного подхода / Новые огнеупоры. 2016. № 3. С. 11 – 12.
3. Корюков А. А. Геометрическая модель рабочего оборудования карьерного экскаватора для расчета нагрузок электропривода и контроля

положения ковша // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 3. С. 106 – 113.

4. Малафеев С. И., Тихонов Ю. В. Компоненты интеллектуального управления для карьерных экскаваторов // Автоматизация в промышленности. 2013. № 10. С. 33 – 37.

5. Певзнер Л. Д., Бабаков С. Е. Управление операцией черпания карьерного экскаватора-мехлопаты с применением нечеткой логики // Уголь. 2012. № 8. С. 64 – 65.

6. Певзнер Л. Д. Математическая модель динамики карьерного экскаватора как объекта управления / Л. Д. Певзнер, С. Е. Бабаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 12. С. 249 – 252.

7. Певзнер Л. Д., Бабаков С. Е. Алгоритм управления операцией черпания карьерного экскаватора-мехлопаты с применением нечеткой логики // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 1. С. 263 – 271.

8. Ганин А. Р. Внедрение экскаваторов нового модельного ряда производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П. Г. Коробкова» на горных предприятиях России / А. Р. Ганин, А. В. Самолазов, Т. В. Донченко // Уголь. 2012. № 8. С. 60 – 62.

9. Комиссаров А. П., Летнев К. Ю., Лукашук О. А. Анализ двухкривошипно-рычажных механизмов рабочего оборудования карьерных экскаваторов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XV Междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека», 20-21 апр., 2017 г., г. Екатеринбург. Екатеринбург: УГГУ, 2017. С. 41 – 46.

10. Кузнецов А. Л. Карьерные экскаваторы ПАО «Уралмашзавод» – настоящее и будущее российской горнодобывающей промышленности / А. Л. Кузнецов, К. Ю. Анистратов // Уголь. 2016. № 8. С. 77 – 81.

11. Лагунова Ю. А., Комиссаров А. П., Шестаков В. С. и др. Горные машины. Энциклопедия. Т. IV-24. М.: Машиностроение, 2011. 493 с.

12. Певзнер Л. Д. Автоматизированное управление мощными одноковшовыми экскаваторами. М.: Горное дело, 2014.

13. Подэрни Р. Ю. Сравнительный анализ гидравлических и механических экскаваторов с прямой лопатой / Р. Ю. Подэрни, П. Булес // Горный журнал. 2015. № 1. С. 55 – 61.

14. Самолазов А. В. Практические результаты внедрения экскаваторов ЭКГ-18Р и ЭКГ-32Р производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П. Г. Коробкова» на угледобывающих предприятиях России / А. В. Самолазов, Т. В. Донченко, Д. А. Шибанов // Уголь. 2013. № 4. С. 36 – 38.

15. Bender F. A., Sawodny O. A. Predictive Driver Model for the Virtual Excavator // The 13th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV), 2014, pp. 187 – 192.

**Anatoly P. Komissarov**, Dr. Sc. in Engineering, Professor, **Sergey A. Khoroshavin**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Konstantin Yu. Letnev**, Senior Engineer, Senior Lecturer

<sup>1</sup> Ural State Mining University, 620144, Russia, Yekaterinburg, ul. Kuybysheva, 30

<sup>2</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, ul. Mira, 19

## FEATURES OF LOADING MODES OF ROPES OF LIFTING AND PRESSURE MECHANISMS OF A QUARRY EXCAVATOR

**Abstract:** *The loading modes of ropes of lifting and pressure mechanisms of a quarry excavator with working equipment straight shovel are characterized, as the results of experimental studies show, by sharp fluctuations in effort and speed. Features of functioning of the main drives of a quarry excavator in the process of rock excavation under the combined action of mechanisms (lifting and pressure) are revealed. It is shown that when the mechanisms work together, a two-crank-lever transmission mechanism is formed, connecting the main mechanisms with the bucket, and a common transmission mechanism of the main drives, including the main mechanisms and the lever mechanism. It is established that the initial link of the General transmission mechanism, the coordinates of which determine the positions of all the links of the mechanism relative to the rack (boom), is the link "handle-bucket". It is shown that one of the reasons for the loading modes of ropes is the inconsistency of the working movements of lifting and pressure with the joint action of the main mechanisms in the process of rock excavation. Dependences are obtained for determining the kinematic transfer functions of the lever mechanism, i.e., the relationship between the lifting and head speeds and the digging speed when moving the bucket (the top of the cutting edge) along a given trajectory during the working of the face. It is established that in this case, the operating parameters of the main mechanisms (speed and force of lifting and pressure) are determined depending on the position of the bucket in the working area of the excavator. The relations between the parameters that characterize the bucket position in the bottom hole and the operating parameters of the main mechanisms are determined. The method of forming the bucket movement trajectory during working out of an excavator face, based on the model of a single step of bucket movement, is developed. The proposed method will ensure the coordination of the main mechanisms when they work together in the process of rock excavation. On the basis of kinematic and power analysis of the lever mechanism, dependences are obtained for determining the operating parameters of the main mechanisms (forces, speeds, and power of forces) for the specified power parameters implemented on the bucket. A simulation model of the process of rock excavation with working equipment straight shovel of a quarry excavator has been developed. The results of the study can be used in the development of the main drive control system.*

**Keywords:** *main Executive mechanisms of a quarry excavator, lever mechanism, operating parameters of the main mechanisms, simulation model of the rock excavation process.*

**Article info:** received October 12, 2020

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-22-27

### REFERENCES

1. Babakov S. E., Pevzner L. D. Algoritmizatsiya upravleniya dvizheniem kovsha ekskavatora v rezhime cherpaniya s primeneniem nechetkoj logiki // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. 2012. № 9. S. 8 – 17.

2. Druzhinin A. V. Povyshenie kachestva upravleniya odnokovshovymi ekskavatorami na osnove mul'tiagentnogo podhoda / Novye ogneupory. 2016. № 3. S. 11 – 12.

3. Koryukov A. A. Geometricheskaya model' rabochego oborudovaniya kar'ernogo ekskavatora dlya rascheta nagruzok elektroprivoda i kontrolya polozheniya kovsha // Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal. 2013. № 3. S. 106 – 113.

4. Malafeev S. I., Tihonov Yu. V. Komponenty intellektual'nogo upravleniya dlya kar'ernyh ekskavatorov // Avtomatizatsiya v promyshlennosti. 2013. № 10. S. 33 – 37.

5. Pevzner L. D., Babakov S. E. Upravlenie operaciej cherpaniya kar'ernogo ekskavatora-mekhlopaty s primeneniem nechetkoj logiki // Ugol'. 2012. № 8. S. 64 – 65.

6. Pevzner L. D. Matematicheskaya model' dinamiki kar'ernogo ekskavatora kak ob'ekta upravleniya / L. D. Pevzner, S. E. Babakov // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. 2013. № 12. S. 249 – 252.

7. Pevzner L. D., Babakov S. E. Algoritm upravleniya operaciej cherpaniya kar'ernogo ekskavatora-mekhlopaty s primeneniem nechetkoj logiki // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. 2015. № 1. S. 263 – 271.

8. Ganin A. R. Vnedrenie ekskavatorov novogo model'nogo ryada proizvodstva OOO «IZ-KARTEKS im. P. G. Korobkova» na gornyh predpriyatiyah Rossii / A. R. Ganin, A. V. Samolazov, T. V. Donchenko // Ugol'. 2012. № 8. S. 60 – 62.

9. Komissarov A. P., Letnev K. Yu., Lukashuk O. A. Analiz dvukrivoshipno-rychazhnyh mekhanizmov rabocheho oborudovaniya kar'ernyh ekskavatorov // Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoj i neftegazovoj promyshlennosti: sb. trudov XV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Chteniya pamyati V. R. Kubacheka», 20-21 apr., 2017 g., g. Ekaterinburg. Ekaterinburg: UGGU, 2017. S. 41 – 46.

10. Kuznecov A. L. Kar'ernye ekskavatory PAO «Uralmashzavod» – nastoyashchee i budushchee rossijskoj gornodobyvayushchej promyshlennosti / A. L. Kuznecov, K. Yu. Anistratov // Ugol'. 2016. № 8. S. 77 – 81.

11. Lagunova Yu. A., Komissarov A. P., Shestakov V. S. i dr. Gornye mashiny. Enciklopediya. T. IV-24. M.: Mashinostroenie, 2011. 493 s.

12. Pevzner L. D. Avtomatizirovannoe upravlenie moshchnymi odnokovshovymi ekskavatorami. M.: Gornoe delo, 2014.

13. Poderni R. Yu. Sravnitel'nyj analiz gidravlicheskikh i mekhanicheskikh ekskavatorov s pryamoj lopatoj / R. Yu. Poderni, P. Bules // Gornyj zhurnal. 2015. № 1. S. 55 – 61.

14. Samolazov A. V. Prakticheskie rezul'taty vnedreniya ekskavatorov EKG-18R i EKG-32R proizvodstva OOO «IZ-KARTEKS im. P. G. Korobkova» na ugledobyvayushchih predpriyatiyah Rossii / A. V. Samolazov, T. V. Donchenko, D. A. Shibanov // Ugol'. 2013. № 4. S. 36 – 38.

15. Bender F. A., Sawodny O. A. Predictive Driver Model for the Virtual Excavator // The 13th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV), 2014, pp. 187 – 192.5.

#### **Библиографическое описание статьи**

Комиссаров А.П., Хорошавин С.А., Летнев К.Ю. Особенности режимов нагружения канатов подъемного и напорного механизмов карьерного экскаватора // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 5 (151). – С. 22-27.

#### **Reference to article**

Komissarov A.P., Khoroshavin S.A., Letnev K.Yu. Features of loading modes of ropes of lifting and pressure mechanisms of a quarry excavator. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.5 (151), pp. 22-27.