

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

А. А. Жилинков^{1,2}, А. Е. Калянов¹, А. П. Комиссаров^{1,2}, Ю. А. Лагунова^{1,2}

¹ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия;

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация: В работе рассмотрены соотношения основных параметров экскаваторно-автомобильных комплексов. Показано, что при возрастании производительности экскаваторно-автомобильных комплексов они существенно изменяются. Обосновано рациональное соотношение между вместимостью ковша экскаватора и грузоподъемностью автосамосвалов, исходя из условия повышения производительности экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК). Эффективность работы ЭАК в конкретных условиях эксплуатации зависит от степени использования грузоподъемности и вместимости кузова транспортных машин. Грузовые платформы карьерных автосамосвалов могут иметь различную форму, размеры и полезную нагрузку. Это обусловлено физико-механическими свойствами грузов, технологией добычи и условиями эксплуатации погрузочных и транспортных машин. Предприятия-изготовители могут оснащать карьерные самосвалы одного линейного ряда с одинаковой грузоподъемностью кузовами нескольких типоразмеров. Наличие у предприятия-производителя нескольких комплектаций кузовов, имеющих разные значения грузовой вместимости, обусловлено условиями эксплуатации автосамосвалов, опытом работы и требованиями заказчика. Поэтому возникает необходимость оценки соответствия габаритно-весовых параметров автосамосвалов (полезной нагрузки и вместимости кузова) физико-механическим свойствам груза, технологии и условиям проведения горных работ. Результаты работы могут быть использованы при выборе параметров экскаваторно-автомобильных комплексов.

Ключевые слова: экскаваторно-автомобильный комплекс, карьерный экскаватор, вместимость ковша, грузоподъемность автосамосвала, количество циклов погрузки.

Для цитирования: Жилинков А. А., Калянов А. Е., Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А. Обоснование параметров экскаваторно-автомобильных комплексов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 12–1. – С. 44–55. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_121_0_44.

Justification of parameters of excavator and car complexes

A. A. Zhilinkov, A. E. Kalyanov, A. P. Komissarov, Yu. A. Lagunova

¹ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia;

² Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

Abstract: The paper considers the relationship between the main parameters of excavator-automobile complexes. It is shown that with an increase in the productivity of excavator-automobile complexes, the ratio between the parameters of mining excavators and dump trucks

changes significantly. A rational relationship between the capacity of the excavator bucket and the load capacity of dump trucks is substantiated, based on the condition for increasing the productivity of the excavator-automobile complex. The efficiency of the EAK in specific operating conditions depends on the degree of use of the carrying capacity and capacity of the body of transport vehicles. Cargo platforms of mining dump trucks can have a different shape, size and payload. This is due to the physical and mechanical properties of cargo, mining technology and operating conditions of loading and transport vehicles. Manufacturers can equip mining dump trucks of the same line with the same load capacity with bodies of several standard sizes. The fact that the manufacturer has several body kits with different cargo capacities is due to the operating conditions of dump trucks, work experience and customer requirements. Therefore, there is a need to assess the compliance of the weight and size parameters of dump trucks (payload and body capacity) with the physical and mechanical properties of the cargo, technology and mining conditions. The results of the work can be used when choosing the parameters of excavator-automobile complexes.

Key words: excavator-automobile complex, mining excavator, bucket capacity, load capacity of a dump truck, number of loading cycles.

For citation: Zhilinkov A. A., Kalyanov A. E., Komissarov A. P., Lagunova Yu. A. Justification of parameters of excavator and car complexes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(12-1):44–55. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_121_0_44.

Введение

Экскаваторно-автомобильные комплексы являются основным видом технологического оборудования на открытых горных работах. Эффективность применения экскаваторно-автомобильных комплексов зависит прежде всего от соотношения вместимости ковша экскаватора и грузоподъемности автосамосвала. Грузовые платформы карьерных автосамосвалов могут иметь различную форму, размеры и полезную нагрузку [1]. Это обусловлено физико-механическими свойствами грузов, технологией добычи и условиями эксплуатации погрузочных и транспортных машин [2]. Соотношение обеспечивается при условии погрузки кузова в 3–5 циклов экскавации [3–5] или 4–6 циклов [6–8]. Однако с ростом единичной мощности экскаваторов это соотношение будет изменяться, так как рост параметров экскавационного оборудования опережает рост параметров автотранспорта [9, 10].

Предприятия-изготовители могут оснащать карьерные самосвалы одного

линейного ряда с одинаковой грузоподъемностью кузовами нескольких типоразмеров. Так, к примеру, ОАО «БЕЛАЗ» в линейном ряду БЕЛАЗ-7513 предлагает заказчикам 6 кузовных типоразмеров вместимостью 40; 45,5; 50,1; 55; 59,6; 103,8 м³. Также приводится информация о вместимости этих кузовов с «шапкой». Размер «шапки» составляет от 30 до 60% геометрического объема [11]. Кроме того, из-за различной комплектации агрегатами и узлами автосамосвалы одного модельного ряда могут иметь различную величину полезной нагрузки (грузоподъемности). Разница этого параметра для автосамосвалов одной модели, но разных модификаций и комплектаций, может достигать 5–10 т.

Очевидно, что наличие у предприятия-производителя нескольких комплектаций автосамосвалов и кузовов, имеющих разные значения грузоподъемности, обусловлено различными условиями эксплуатации, опытом работы и требованиями заказчика. Поэтому возникает необходимость оценки

соответствия габаритно-весовых параметров автосамосвалов (полезной нагрузки и вместимости кузова) физико-механическим свойствам груза, технологии и условиям проведения горных работ.

Методы и результаты исследований

Взаимосвязь грузоподъемности и вместимости автосамосвала при перевозке горной породы устанавливается коэффициентом загрузки кузова ($k_{заг}$):

$$k_{заг} = \frac{q_n K_p}{V_n \gamma_m}, \quad (1)$$

где q_n — паспортная (номинальная) грузоподъемность автосамосвала (по данным технической характеристики машины), т; V_n — геометрический (паспортный) объем кузова (вместимость) автосамосвала, м³; K_p — коэффициент разрыхления горной породы; γ_m — плотность горной породы в массиве (целике), т/м³.

С помощью коэффициента загрузки можно оценить степень использования вместимости грузовой платформы (кузова) автосамосвала.

Если $k_{заг} < 1,0$, то грузоподъемность автотранспортного средства используется полностью, на 100%, а вместимость (объем) самосвальной платформы недоиспользуется. В этом случае карьерный автосамосвал имеет излишний объем платформы и предназначен для перевозки горной породы с меньшей насыпной плотностью (массой).

Если $k_{заг} > 1,0$, то геометрический объем (вместимость) платформы полностью используется, а грузоподъемность автотранспортного средства недоиспользуется. При неполном использовании объема допускается погрузка горной массы с «шапкой» (20 – 50% от паспортного объема), то

есть величина коэффициента загрузки составит $k_{заг} = 1,2 - 1,5$. Максимальную величину (объем) «шапки» устанавливает предприятие-изготовитель, указывая эти параметры в технической характеристике автосамосвалов [12, 13].

С учетом размера «шапки» максимально допустимый коэффициент загрузки определяется выражением

$$k_{заг}^{uu} = \frac{V_{uu}}{V_n}, \quad (2)$$

где V_{uu} — вместимость грузовой платформы (кузова) автосамосвала с «шапкой», по данным технической характеристики машины, т.

Количество ковшей, которые поместятся по объему в кузов автосамосвала:

$$n'_k = \frac{V_{uu}}{V_n K_{нк} K_y}, \quad (3)$$

где $K_{нк}$ — коэффициент наполнения ковша; K_y — коэффициент уплотнения горной массы в ковше.

Количество ковшей, которые поместятся по грузоподъемности в кузов автосамосвала:

$$n''_k = \frac{q_n K_p}{V_n K_{нк} \gamma_m}. \quad (4)$$

Полное использование полезной нагрузки кузова (грузоподъемности) в тоннах и минимальное время на погрузочные операции обеспечиваются следующими условиями:

– количество ковшей по объему и грузоподъемности приблизительно равны, то есть $n'_k \approx n''_k$;

– коэффициенты загрузки, определяемые по выражениям (1) и (2), также равны: $k_{заг} \approx k_{заг}^{uu}$;

– количество ковшей должно находиться в пределах 4–6, в отдельных случаях, в силу существующих кон-

структивных параметров погрузочных и транспортных машин и технологии ведения горных работ, это значение может находиться в диапазоне 3–10;

– фактическое число ковшей по возможности должно быть целым и равным числу циклов экскавации ($n_k^{\phi} \approx n_{цз}$), в противном случае последний ковш должен быть наполнен частично [14, 15].

В табл. 1 представлены результаты оценки габаритно-весовых параметров карьерных самосвалов одного линейного ряда. Расчеты выполнены для следующих условий: плотность горной массы в массиве (целике) – 2,4 т/м³; грузоподъемность автосамосвала – 136 т; коэффициент разрыхления горной породы (массы) – 1,5; емкость ковша экскаватора – 16 м³; коэффициент наполнения ковша – 0,9; коэффициент уплотнения горной породы (массы) в кузове – 0,95.

Как видно из табл. 1, для указанных условий в наибольшей степени по габаритно-весовым параметрам подходит автосамосвал с геометрическим объ-

емом кузова 59,6 м³ (объем с «шапкой» – 84 м³).

В табл. 2 приведена оценка трех моделей автосамосвалов с разной грузоподъемностью (130, 136 и 160 т). Условия производства горных работ приняты те же, время на маршруте транспортирования – 11 ч; среднетехническая скорость автосамосвала – 30 км/ч; расстояние груженого оборота (груженный пробег) – 20 км; общая протяженность маршрута перевозки (общий пробег за рейс) – 40 км; время цикла экскавации – 27 с; сменная производительность ЭАК – 26000 т/см [16, 17].

Результаты расчетов, приведенные в табл. 2, показывают, что более рационально применить автосамосвал БЕЛАЗ-75131, так как при максимальном коэффициенте использования грузоподъемности количество ковшей стремится к целому числу, выполняется условие их приближенного равенства между собой, а также с числом циклов экскавации. Кроме того, число циклов экскавации по величине входит

Таблица 1

Оценка габаритно-весовых параметров карьерных самосвалов одного линейного ряда
Estimation of overall and weight parameters of mining dump trucks of one linear series

Наименование расчетных параметров	Значения расчетных параметров					
Вместимость кузова, куб. м	40	45,5	50,1	55	59,6	103,8
Вместимость кузова с шапкой, куб. м	67	71,2	75,5	80	84	134,8
Коэффициент загрузки	2,13	1,87	1,70	1,55	1,43	0,82
Коэффициент загрузки максимально допустимый	1,68	1,56	1,51	1,45	1,41	1,30
Число ковшей по объему	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	9,9
Число ковшей по грузоподъемности	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Принятое число ковшей	5,0	5,5	5,5	6,0	6,0	6,0
Фактическое (принятое) число циклов экскавации	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Масса груза в ковше	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Масса груза в кузове	115,2	126,7	126,7	138,2	138,2	138,2
Коэффициент использования грузоподъемности	0,85	0,93	0,93	1,02	1,02	1,02

Таблица 2

Оценка габаритно-весовых параметров карьерных автосамосвалов разных грузоподъемностей (полезной нагрузки)
 Estimation of overall and weight parameters of mining dump trucks of different carrying capacities (payload)

Расчетные параметры	Значения		
	БЕЛАЗ-75131	БЕЛАЗ-7513	БЕЛАЗ-75170
Грузоподъемность автосамосвала, т	136	130	160
Статический коэффициент использования грузоподъемности	1,02	0,97	1,01
Число ковшей по объему	6,1	6,1	7,05
Число ковшей по грузоподъемности	5,9	5,9	6,94
Фактическое (принятое) число циклов экскавации	6,0	6,0	7,0
Время на погрузку, мин	3,7	3,7	4,2
Суммарное время на погрузку-разгрузку, ч	0,12	0,12	0,14
Время рейса (оборота), ч	0,79	0,79	0,81
Сменная производительность автосамосвала, т/см	1643,2	1570,7	1913,5
Число рейсов (оборотов) за смену, ед.	13,9	13,9	13,7
Потребное суммарное число рейсов (оборотов) в смену для всего парка автосамосвалов	188	205	161
Рабочий парк автосамосвалов, ед.	16	17	14

в диапазон рациональных значений (4)–(6).

Условие соответствия габаритно-весовых параметров автосамосвалов физико-механическим свойствам груза, технологии и условиям проведения горных работ в общем виде определяется целевой функцией.

$$Z = \varphi \left[Q_{AC} (k_{\Gamma}; k_{\text{заг}} (n_k; V_{II}; v; g)) \right] \rightarrow \max \quad (5)$$

при ограничениях:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{\Gamma} \rightarrow 1,0; \\ k_{\text{заг}} \approx k_{\text{заг}}^u; \\ n'_k \approx n''_k \approx n_k^{\phi} \approx n_{\text{цз}} \rightarrow \text{целое}; \\ n_k; V_{II}; v; g \neq \text{const.} \end{array} \right.$$

где Q_{AC} – сменная производительность карьерного автосамосвала, т/см; k_{Γ} –

коэффициент использования грузоподъемности; v – геометрический объем ковша экскаватора, м³; g – обобщающий параметр, характеризующий физико-механические свойства горной породы.

Дальнейшее совершенствование метода оценки технических и эксплуатационных параметров автосамосвалов позволит оперативно решать несколько вопросов:

- в соответствии с условиями ведения горных работ выбирать рациональные габаритно-весовые параметры (полезную нагрузку и вместимость) автосамосвалов;
- выбирать рациональное соотношение вместимости кузова транспортных и ковша погрузочных машин;
- оценивать габаритно-весовые параметры транспортных машин на предмет их применения и др.

В работе также выполнен сравнительный анализ функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов с машинами разного типоразмера:

I вариант — экскаватор ЭКГ-12 производства ПАО «Уралмашзавод» и автосамосвал БЕЛАЗ — 7513;

II вариант — экскаватор ЭКГ-12 производства ПАО «Уралмашзавод» и автосамосвал БЕЛАЗ — 75180;

III вариант — экскаватор ЭКГ-20 производства ПАО «Уралмашзавод» и автосамосвал БЕЛАЗ — 7513;

IV вариант — экскаватор ЭКГ-20 производства ПАО «Уралмашзавод» и автосамосвал БЕЛАЗ — 75180.

В табл. 3 и 4 приведены характеристики экскаваторно-автомобильных комплексов. Рассматриваемые экскаваторно-автомобильные комплексы различаются соотношением между грузоподъемностью автосамосвала и массой породы в ковше экскаватора в диапазоне от 3,6 (ЭАК-3) до 8,3 (ЭАК-2). Кроме того, автосамосвалы различаются величиной удельной мощности двигателя, т.е. мощности, отнесенной к полной массе автосамосвала.

Выполнены эксплуатационные расчеты автомобильного транспорта.

Исходные данные для расчетов следующие:

– мощность карьера по горной массе — 30 млн т/год;

– общая сменная производительность всего карьера по горной массе $Q_{см}^{общ} = 50000$ т/см;

– категория горных пород по трудности экскавации — IV (расчетная плотность горной массы $\gamma_m = 2,4$ т/м³, коэффициент разрыхления горной массы $K_p = 1,45$, коэффициент наполнения ковша экскаватора $K_n = 0,96$, коэффициент использования вместимости ковша $K_u = 0,66$) [18, 19];

– протяженность трассы $L = 20$ км;

– режимы движения автотранспорта в карьере не учитываются;

– скорость движения автосамосвала, в соответствии с правилами технической эксплуатации автосамосвалов [20, 21], принята $V = 50$ км/ч.

При расчетах полного времени рейса (оборота) самосвалов скорости движения машин скорректированы с учетом удельной мощности двигателей.

Время погрузки автосамосвала определяется количеством загрузок (ковшей) в кузов (циклов экскавации) или отношением грузоподъемности к массе породы в ковше. Время разгрузки автосамосвала составляет $t_p = 72$ с [18, 20]. Дополнительное время на маневровые операции (при подъезде и установке на погрузку и разгрузку) принято $t_{дон} = 100$ с [21, 22]. Результаты расчетов приведены в табл. 5 и 6.

Основными показателями, характеризующими эффективность функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов, являются сменная производительность комплекса и расход топлива. Сменная производительность комплекса зависит от грузоподъемности автосамосвала, времени рейса (оборота) автосамосвала, скорости движения автосамосвала и других параметров. Ее величина может быть определена из выражения

$$Q_m = \frac{q_n K_r T_{см}}{T_{рейса}}, \quad (6)$$

где K_r — статический коэффициент использования грузоподъемности автосамосвала, т; $T_{см}$ и $T_{рейса}$ — соответственно продолжительности смены и рейса (оборота) автосамосвала, ч.

Время рейса (оборота) автосамосвала составляет:

$$T_{рейса} = t_n + t_{дв}^2 + t_p + t_{дв}^n + t_{дон} =$$

Таблица 3

Технические характеристики экскаваторно-автомобильных комплексов (I и II варианты)
Technical characteristics of excavator-automobile complexes (I and II options)

Параметры	ЭАК-1		ЭАК-2	
	ЭКГ-12	7513	ЭКГ-12	75180
Вместимость ковша экскаватора, м ³	12		12	
Масса породы в ковше, т	19,2		19,2	
Грузоподъемность автосамосвала, т		130		180
Масса машины, т	600	110	600	145
Мощность двигателя, кВт	1250	1194	1250	1491
Расчетное время цикла, с	27		27	
Удельная мощность двигателя, кВт/ч		5,0		4,6
Техническая скорость движения, км/ч		54*		50
Максимальная скорость движения, км/ч		60		60

*Скорость движения автосамосвала, величина которой скорректирована с учетом удельной мощности двигателя.

Таблица 4

Технические характеристики экскаваторно-автомобильных комплексов (III и IV варианты)
Technical characteristics of excavator-automobile complexes (III and IV options)

Параметры	ЭАК-3		ЭАК-4	
	ЭКГ-20	7513	ЭКГ-20	75180
Вместимость ковша экскаватора, м ³	20		20	
Масса породы в ковше, т	32		32	
Грузоподъемность автосамосвала, т		130		180
Масса машины, т	1050	110	1050	145
Мощность двигателя, кВт	2250	1194	2250	1491
Расчетное время цикла, с	28		28	
Удельная мощность двигателя, кВт/ч		5,0		4,6
Техническая скорость движения, км/ч		54		50
Максимальная скорость движения, км/ч		60		60

Таблица 5

Эксплуатационные показатели экскаваторно-автомобильных комплексов (I и II варианты)
Performance indicators of excavator-automobile complexes (I and II options)

Показатели	ЭАК-1	ЭАК-2
Количество загрузок в кузов	7 (6,8)	10 (9,4)
Время погрузки автосамосвала, мин	2,7	4,1
Время движения автосамосвала, мин	42,2	44
Время рейса автосамосвала с учетом затрат времени на разгрузку и на маневры, мин	47,8	51
Сменная производительность автосамосвала, т/см.	1630	2120
Рабочий парк автосамосвалов	31	24
Суммарная масса автотранспорта, т	3410	3480
Суммарная мощность двигателей, кВт	37000	35800
Расход топлива, л/см.	465	590

Таблица 6

Эксплуатационные показатели экскаваторно-автомобильных комплексов (III и IV варианты)
Performance indicators of excavator-automobile complexes (III and IV options)

Показатели	ЭАК-3	ЭАК-4
Количество загрузок в кузов	4	6 (5,7)
Время погрузки автосамосвала, мин.	1,9	2,3
Время движения автосамосвала, мин.	42,2	44
Время рейса автосамосвала с учетом затрат времени на разгрузку и на маневры, мин.	47	49,2
Сменная производительность автосамосвала, т/см.	1660	2200
Рабочий парк автосамосвалов	30	23
Суммарная масса автотранспорта, т.	3300	3335
Суммарная мощность двигателей, кВт	35800	34300
Расход топлива, л/см.	476	610

$$= t_n + \frac{l_z}{V_z} + t_p + \frac{l_n}{V_n} + t_{дон}, \quad (7)$$

где $t_{дв}^z$, $t_{дв}^n$ — соответственно время движения груженого и порожнего автосамосвала, ч; l_z и l_n — соответственно пробег груженого и порожнего автосамосвала, км; V_z и V_n — соответственно скорости движения груженого и порожнего автосамосвала, км/ч.

Расход топлива определяется при прочих равных условиях полной массой автосамосвала (точнее, суммой полной массы и массы автосамосвала).

Как показывают данные табл. 5 и 6, при увеличении скорости движения повышается производительность экскаваторно-автомобильного комплекса при неизменном расходе топлива.

Заключение

На основании выполненного технико-экономического анализа вариантов экскаваторно-автомобильных комплексов можно сделать следующие выводы.

1. Максимально эффективная работа карьерных автосамосвалов возможна при соответствии их габаритно-весовых параметров физико-механическим

свойствам груза, технологии и условиям проведения горных работ.

2. Предложен усовершенствованный метод оценки габаритно-весовых параметров карьерных автосамосвалов, работающих в ЭАК.

3. Использование в экскаваторно-автомобильных комплексах технологического оборудования повышенной единичной мощности обеспечивает рост производительности комплекса при сокращении рабочего парка автосамосвалов.

4. Повышение производительности экскаваторно-автомобильного комплекса при неизменном расходе топлива достигается за счет увеличения скорости движения автосамосвала.

Вклад авторов:

Жилинков А. А. — постановка задачи исследования, выполнение расчетов.

Калянов А. Е. — написание текста статьи, получение данных для анализа.

Комиссаров А. П. — анализ результатов исследования

Лагунова Ю. А. — генерация идеи исследования, выполнение работы по систематизации материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харитонов Н. Д., Губанов С. Г. Оптимизация гидравлического экскаватора // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». — 2021. — № 1 (9). — С. 56–63. DOI: 10.46573/2658-5030-2021-1-56-63.
2. Каунг П. А., Зотов В. В., Гаджиев М. А., Артемов С. И., Гиреев И. А. Формализация процесса выбора технологий обработки месторождений полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 2. — С. 124–138. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_124.
3. Анистратов К. Ю. Исследование закономерностей изменения показателей работы карьерных самосвалов в течение срока их эксплуатации // Уголь. — 2008. — № 7. — С. 58–63.
4. Анистратов К. Ю., Борщ-Компоницец Л. В. Исследование показателей работы карьерных самосвалов для обоснования структуры парка и норм выработки автотранспорта // Горная промышленность. — 2011. — № 4. — С. 38–49.
5. Владимиров Д. Я., Клебанов А. Ф., Кузнецов И. В. Цифровая трансформация открытых горных работ и новое поколение карьерной техники // Горная промышленность. — 2020. — № 6. — С. 10–12. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-6-10-12.
6. Бочкарев Ю. С., Зырянов И. В. Повышение эффективности эксплуатации карьерных автосамосвалов при разработке россыпных месторождений Севера // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5-2. — С. 80–90. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_80.
7. Журавлев А. Г., Исаков М. В. Экспериментальные исследования работы карьерных автосамосвалов в условиях эксплуатации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3-1. — С. 530–542. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-530-542.
8. Лагунова Ю. А., Хорошавин С. А., Набиуллин Р. Ш., Калянов А. Е. Анализ металлоконструкций стрелы карьерного экскаватора методом неразрушающего контроля // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. — 2022. — № 15. — С. 115–123. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2022-15-115-123>.
9. Demirel N., Taghizadeh A., Khouri S., Tyuleneva E. Optimization of the Excavator and-Dump Truck Complex at Open Pit Mines – the Case Study // E3S Web Conf. 2018, vol. 41(5), 01006. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101006.
10. Самолазов А. В., Паладеева Н. И., Беликов А. А. Основные тенденции развития экскаваторно-автомобильных комплексов // Горная промышленность. — 2009. — № 4. — С. 20–23.
11. Мариев П. А., Кулешов А. А., Егоров А. Н., Зырянов И. В. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке [монография]. — СПб.: Наука, 2006. — 387 с.
12. Мерзляков В. Г., Слесарев Б. В., Штейнцвайг В. М. Опыт применения карьерных гидравлических экскаваторов Komatsu Mining Germany на предприятиях России // Горное оборудование и электротехника. — 2013. — № 5. — С. 15–20.
13. Шеметов П. А., Рубцов С. К., Шлыков А. Г. Опыт эксплуатации гидравлических и канатных экскаваторов в карьере «Мурунтау» // Горный журнал. — 2006. — № 10. — С. 67–71.
14. Ishihara S., Kanazawa A., Narikawa R. Realization of Excavator Loading Operation by Nonlinear Model Predictive Control with Bucket Load Estimation // IFAC-PapersOnLine. 2021, vol. 54 (20), pp. 20–25. DOI: 10.1016/j.ifacol.2021.11.147.
15. Kosiara A., Skurjat A., Chołodowski J. Assessment of Implementation of Neural Networks in On-Board Dynamic Payload Weighing Systems // Springer Proceedings in Mathematics and Statistics. 2022, vol. 362, pp. 193–203. DOI: 10.1007/978-3-030-77306-9_17.

16. Зиновьев В. В., Кузнецов И. С., Стародубов А. Н. Исследование человеко-машинного управления автосамосвалами в составе экскаваторно-автомобильного комплекса с применением имитационного моделирования // Уголь. — 2021. — № 7. — С. 9–12.

17. Kolesnikov V. F., Cehlar M., Tyuleneva E. A. Overview of excavation and loading operations in the coal-bearing zones at Kusbass open pit mines // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. 2018, no. 2, pp. 36–49.

18. Litvin O., Tyuleneva E., Kolesnikov V., Dobrov A. Coal-bearing zone transformation into a coalless one at the open pit // E3S Web of Conf. 2018, vol. 41, 01020. DOI: 10.1051/E3SCONF/20184101020.

19. Бригадин И. В., Возгрин Р. А., Краснов С. А., Торопов А. Ю. Модель движения транспортного средства в карьерах по непрофилированному дорожному полотну // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 2. — С. 168–174. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-168-174.

20. Li Y., Niu T., Qin T., Yang L. Machine Vision Based Autonomous Loading Perception for Super-huge Mining Excavator // Proceedings of the 16th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA-2021. 2021, pp. 1250–1255. DOI: 10.1109/ICIEA51954.2021.9516320.

21. Kim J., Chi S., Seo J. Interaction analysis for vision-based activity identification of earthmoving excavators and dump trucks // Automation in Construction. 2018, vol. 87, pp. 297–308. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.12.016.

22. Пурэвтогтох Б., Бямбадагва Б., Энхчулуун Б. Дифференциально-аналитический и графоаналитический методы определения расхода топлива карьерных автосамосвалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3–1. — С. 557–567. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-557-567. **MIAB**

REFERENCE

1. Kharitonov N. D., Gubanov S. G. Optimizing a hydraulic excavator. *Bulletin of the Tver State Technical University. The series "Technical Sciences"*. 2021, no. 1 (9), pp. 56–63. [In Russ]. DOI: 10.46573/2658-5030-2021-1-56-63.

2. Kaung P. A., Zotov V. V., Gadzhiev M. A., Artemov S. I., Kireev I. A. Formalization of selection procedure of mineral mining technologies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 2, pp. 124–138. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_124.

3. Anistratov K. Yu. Study of the patterns of changes in the performance of mining dump trucks during their service life. *Coal*. 2008, no. 7, pp. 58–63. [In Russ].

4. Anistratov K. Yu., Borshch-Komponiec L. V. Study of the performance indicators of mining dump trucks to justify the structure of the fleet and norms for the production of vehicles. 2011, no. 4, pp. 38–49. [In Russ].

5. Vladimirov D. Ya., Klebanov A. F., Kuznetsov I. V. Digital transformation of surface mining and new generation of open-pit equipment. *Mining industry*. 2020, no. 6, pp. 10–12. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-6-10-12.

6. Bochkaryov Yu. S., Zyryanov I. V. Improving the efficiency of operation quarry dump trucks on placer deposits in the North conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5–2, pp. 80–90. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_80.

7. Zhuravlev A. G., Isakov M. V. Experimental testing of open pit dump trucks in operating conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 3–1, pp. 530–542. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-530-542.

8. Lagunova Yu. A., Khoroshavin S. A., Nabiullin R. Sh., Kalyanov A. E. Analysis of metal structures of a mining excavator boom using non-destructive testing. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2022, no. 15, pp. 115–123. [In Russ]. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2022-15-115-123>.

9. Demirel N., Taghizadeh A., Khouri S., Tyuleneva E. Optimization of the Excavator-and-Dump Truck Complex at Open Pit Mines – the Case Study. *E3S Web Conf.* 2018, vol. 41(5), 01006. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101006.

10. Samolazov A. V., Paladeeva N. I., Belikov A. A. Basic tendencies in development of excavator-motor car complexes. *Mining industry.* 2009, no. 4, pp. 20–23. [In Russ].

11. Mariev P. A., Kuleshov A. A., Egorov A. N., Zyryanov I. V. Career transport of the CIS countries in the XXI century [monography]. St. Petersburg, Science. 2006, 387 p. [In Russ].

12. Merzlyakov V. G., Slesarev B. V., Steintsayg V. M. Experience in the use of mining hydraulic excavators Komatsu Mining Germany at Russian enterprises. *Mining equipment and electrical engineering.* 2013, no. 5, pp. 15–20. [In Russ].

13. Shemetov P. A., Rubtsov S. K., Shlykov A. G. Operating experience of hydraulic and rope excavators in the Muruntau quarry. *Mining Journal.* 2006, no. 10, pp. 67–71. [In Russ].

14. Ishihara S., Kanazawa A., Narikawa R. Realization of Excavator Loading Operation by Nonlinear Model Predictive Control with Bucket Load Estimation. *IFAC-PapersOnLine.* 2021, vol. 54 (20), pp. 20–25. DOI: 10.1016/j.ifacol.2021.11.147.

15. Kosiara A., Skurjat A., Chołodowski J. Assessment of Implementation of Neural Networks in On-Board Dynamic Payload Weighing Systems. *Springer Proceedings in Mathematics and Statistics.* 2022, vol. 362, pp. 193–203. DOI: 10.1007/978-3-030-77306-9_17.

16. Sinoviev V. V., Kuznetsov I. S., Starodubov A. N. Studies into man-machine control of dump trucks as part of excavator-and-truck complex using simulation modeling. *Coal.* 2021, no. 7, pp. 9–12. [In Russ].

17. Kolesnikov V. F., Cehlar M., Tyuleneva E. A. Overview of excavation and loading operations in the coal-bearing zones at Kusbass open pit mines. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering.* 2018, no. 2, pp. 36–49.

18. Litvin O., Tyuleneva E., Kolesnikov V., Dobrov A. Coal-bearing zone transformation into a coalless one at the open pit. *E3S Web of Conf.* 2018, vol. 41. 01020. DOI: 10.1051/E3SCONF/20184101020.

19. Brigadin I. V., Vozgrin R. A., Krasnov S. A., Toropov A. Yu. Model of unbladed road traffic in open pit mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 2, pp. 168–174. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-168-174.

20. Li Y., Niu T., Qin T., Yang L. Machine Vision Based Autonomous Loading Perception for Super-huge Mining Excavator. *Proceedings of the 16th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2021.* 2021, pp. 1250–1255. DOI: 10.1109/ICIEA51954.2021.9516320.

21. Kim J., Chi S., Seo J. Interaction analysis for vision-based activity identification of earthmoving excavators and dump trucks. *Automation in Construction.* 2018, vol. 87, pp. 297–308. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.12.016.

22. Purewtogtoh B., Byambadagwa B., Enchuluun B. The determination of the fuel consumption of mining dump trucks. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 3–1, pp. 557–567. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-557-567.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жилинков Александр Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Горные машины и комплексы», <http://orcid.org/0000-0002-3252-8577>, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, 620144, ул. Куйбышева, 30, Россия, e-mail: zhilinkov@m.ursmu.ru;

Калянов Александр Евгеньевич — канд. техн. наук, доцент кафедры «Горные машины и комплексы», <http://orcid.org/0009-0008-6905-0416>, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, 620144, ул. Куйбышева, 30, Россия, e-mail: aleksandr.kalyanov@m.ursmu.ru;

Комиссаров Анатолий Павлович — д-р техн. наук, проф., профессор кафедры «Горных машин и комплексов», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, 620144, ул. Куйбышева, 30, Россия, E-mail: anatoliy.komissarov@m.ursmu.ru;

Лагунова Юлия Андреевна — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Горных машин и комплексов», <http://orcid.org/0000-0002-3828-434X>, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Россия, E-mail: yu.lagunova@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zhilinkov Aleksandr Aleksandrovich, Cand. Sci. (Eng.), Ural State Mining University, 620144, Ekaterinburg, st. Kuibyshev, 30, Russia;

Kalyanov Aleksandr Evgen'evich, Cand. Sci. (Eng.), Ural State Mining University, 620144, Ekaterinburg, st. Kuibyshev, 30, Russia;

Komissarov Anatoliy Pavlovich, Dr. Sci. (Eng.), Ural State Mining University, 620144, Ekaterinburg, st. Kuibyshev, 30, Russia;

Lagunova Yuliya Andreevna, Dr. Sci. (Eng.), Ural State Mining University, 620144, Ekaterinburg, st. Kuibyshev, 30, Russia.

Получена редакцией 15.05.2023; получена после рецензии 03.10.2023; принята к печати 10.11.2023.

Received by the editors 15.05.2023; received after the review 03.10.2023; accepted for printing 10.11.2023.

