

**Воронов Антон Юрьевич<sup>1</sup>, Нестеров Валерий Иванович**, доктор техн. наук, профессор, **Воронов Юрий Евгеньевич<sup>2</sup>**, доктор техн. наук, профессор, **Ромашко Владимир Георгиевич<sup>2</sup>**, кандидат техн. наук, **Воронов Артем Юрьевич<sup>2</sup>**, кандидат техн. наук

<sup>1</sup>АО «УК «Кузбассразрезуголь», 650054, Россия, г. Кемерово, Пионерский б-р, 4а

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

E-mail: a.voronov@krgu.ru

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РАЗРЕЗОВ В ЛЕТНИЙ И ПЕРЕХОДНЫЙ ПЕРИОДЫ ГОДА

**Аннотация:** *Актуальность работы.* Качество работы экскаваторно-автомобильных комплексов (ЭАК) разрезов в летний и переходный осенне-весенний периоды заметно различается. Связано это со снижением скоростей движения самосвалов в переходный период года по сравнению с летним периодом. Это приводит к увеличению времени пробега самосвалов. Для того, чтобы обеспечить запланированные объемы погрузки и перевозок и необходимое для этого количество рейсов, экскаваторы и самосвалы должны работать дольше. Следовательно, увеличивается продолжительность рабочей смены (суток). Это и приводит к ухудшению показателей работы ЭАК в осенне-весенний период. Количественная оценка изменения качества работы ЭАК позволит выявить направления его повышения.

**Цель работы.** Сравнительная оценка качества работы ЭАК разрезов Кузбасса в разные периоды эксплуатации.

**Методы исследования.** Используются современные методы сбора и обработки данных, математического моделирования, анализа и синтеза.

**Результаты.** Сравнительный анализ работы ЭАК в летний и осенне-весенний периоды года показывает, что продолжительность рейса самосвалов в осенне-весенний период в среднем на 11,0% больше, чем в летний; время загрузки самосвала экскаватором не изменяется; функциональный критерий снижается на 11,0%, а обобщенный коэффициент качества функционирования ЭАК – на 14,8%. Приемлемые для горной промышленности значения функционального критерия составляют 0,9 и выше. Значение обобщенного показателя качества функционирования ЭАК в этом случае превышает наилучшее из достигнутых по Компании при оптимальных значениях продолжительности рейса самосвалов на 29,5% и на 50,7% по Компании в целом. Использование даже худшего варианта при максимально возможном значении продолжительности рейса дает увеличение функционального критерия на 9,4%, а значение обобщенного показателя качества работы ЭАК – на 17,2%.

**Ключевые слова:** экскаваторно-автомобильные комплексы, качество работы, летний и переходный периоды эксплуатации, оптимизация показателей.

**Информация о статье:** принята 02 февраля 2021 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2021-2-11-16

В настоящее время существует достаточно большое количество моделей, исследующих ЭАК карьеров [1-4]. Однако нет достаточных методических и нормативных материалов, регламентирующих такое важнейшее направление повышения качества объектов, как их оптимизация. К настоящему времени вопросам оптимизации работы станков вращательного бурения, одноковшовых гидравлических экскаваторов, автотранспортной техники для разрезов, а также ЭАК в летний период посвящено несколько работ [5-10].

Математическая модель оптимизации (ММО) показателей функционирования ЭАК разрезов Кузбасса в летний период года [10] имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} k = -0,268 + 0,209k_N + 0,397t_n^3 - 0,0415t_p \rightarrow \max; \\ 0,130k_N + 0,230t_n^3 - 0,0250t_p \geq 0,917; \\ 0,130k_N + 0,230t_n^3 - 0,0250t_p \leq 1,083; \\ t_n^3 + 0,0619t_p \geq 4,822; \quad (1) \\ \quad \quad \quad t_n^3 + 0,0619t_p \leq 5,134; \\ k_N \geq 5,124; \\ k_N \leq 6,653; \\ k_N \geq 0; t_n^3 \geq 0; t_p \geq 0, \end{array} \right.$$

где  $k$  – обобщенный показатель качества функционирования ЭАК (критерий оптимизации);  $k_N$  (коэффициент эффективного состава ЭАК),  $t_n^3$  (время загрузки карьерного самосвала экскаватором),  $t_p$  (продолжительность рейса самосвала) – оптимизируемые параметры.

Таблица 1. Сводный отчет о работе ЭАК разрезов УК «Кузбассразрезуголь»  
 Table 1. Summary report on the STS operation at open-pit coal mines of UK «Kuzbassrazrezugol»

Показатели	Разрезы					
	Кедровский	Моховский	Бачатский	Краснобродский	Талдинский	Калтанский
Численность экскаваторного парка, $N_3$ , ед.	8	10	9	12	14	10
Численность автотранспортного парка, $N_c$ , ед.	31	28	67	93	91	31
Количество выполненных рейсов, $n_p$	1064	1632	1833	3518	3372	1241
Общие внутрисменные простои техники, $t_{пр}^T$ , мин	4820	4874	7114	4209	6376	1741
Простои самосвалов, $t_{пр}^c$ , мин	2126	1022	5620	1947	2818	457
Простои экскаваторов, $t_{пр}^3$ , мин	2694	3852	1494	2262	3558	1470
Время погрузки, $t_n^3$ , мин	4004	6041	4528	9567	9750	4448
Пробег за сутки, $L$ , км	3714	3361	10611	16182	13072	4722
Время груженого пробега, $t_{гр}$ , мин	$\frac{13505}{15531}$	$\frac{11639}{13385}$	$\frac{36687}{42190}$	$\frac{55997}{64396}$	$\frac{45022}{51775}$	$\frac{16282}{18724}$
Время разгрузки, $t_{разгр}$ , мин	874	1530	1689	2880	2760	1091
Время порожнего пробега, $t_{пор}$ , мин	$\frac{10013}{11515}$	$\frac{9395}{10804}$	$\frac{27965}{32160}$	$\frac{42573}{48959}$	$\frac{34307}{39453}$	$\frac{12500}{14375}$
Продолжительность рейса, $t_p$ , в том числе:	$\frac{29257}{32784}$	$\frac{28960}{32115}$	$\frac{73142}{82840}$	$\frac{112348}{127133}$	$\frac{95126}{107025}$	$\frac{34909}{39225}$
– простои в ожидании погрузки, $t_{пр}^{c\text{ож}}$ , мин	861	355	2273	1331	3287	587
Время рейса с учетом простоев техники, $(t_p + t_{пр}^T)$ , мин	$\frac{34076}{37604}$	$\frac{33835}{36990}$	$\frac{80256}{89954}$	$\frac{116557}{131343}$	$\frac{101502}{113401}$	$\frac{36649}{40967}$
Время работы техники в сутки, $T_{см}$ , ч	$\frac{18,32}{20,22}$	$\frac{20,14}{22,02}$	$\frac{19,96}{22,38}$	$\frac{20,89}{23,54}$	$\frac{18,59}{20,77}$	$\frac{19,70}{22,03}$

Примечание. В числителе – показатели работы ЭАК по летнему периоду; в знаменателе – по осенне-весеннему.

В работе [11] установлено, что скорость движения самосвалов в переходный (осенне-весенний) период года снижается по сравнению с летним периодом на 15-20%. Это приводит к увеличению времени пробега самосвалов в груженом  $t_{гр}$  и порожнем  $t_{пор}$  направлениях, продолжительности рейса  $t_p$ . Для того чтобы обеспечить запланированные объемы погрузки и перевозок и необходимое для этого количество рейсов, экскаваторы и самосвалы должны работать дольше. Следовательно, увеличится продолжительность рабочей смены (суток)  $T_{см}$ , которая не должна превышать  $T_{см}^{max} = 24$  ч. Для оценки влияния только условий осенне-весеннего периода на работу ЭАК все остальные показатели этой работы оставлены без изменений. Исходные данные для расчетов приведены в табл. 1. Для получения сравнительных характеристик базовые значения удельных величин показателей качества согласно методике, приведенной в работе [12], должны приниматься по летнему периоду.

По аналогии с исследованиями для летнего периода [13] был проведен математический эксперимент по плану ПФЭ типа  $2^3$ , в результате статистического анализа которого получена ММО для переходного (осенне-весеннего) периода года:

$$\left\{ \begin{array}{l} k = -0,244 + 0,177k_N + 0,395t_n^3 - 0,0308t_p \rightarrow \max; \\ 0,116k_N + 0,206t_n^3 - 0,0199t_p \geq 0,925; \\ 0,116k_N + 0,206t_n^3 - 0,0199t_p \leq 1,075; \\ t_n^3 + 0,0539t_p \geq 4,787; \quad (2) \\ t_n^3 + 0,0539t_p \leq 5,097; \\ k_N \geq 5,079; \\ k_N \leq 6,600; \\ k_N \geq 0; t_n^3 \geq 0; t_p \geq 0, \end{array} \right.$$

исследование которой дает сравнительную оптимальную симплекс-таблицу 2.

Оптимальное решение, таким образом, имеет следующий вид:

$$k_N^* = 5,079; t_n^{3*} = 4,116 \text{ мин}; t_p^* = 18,19 \text{ мин}; \lambda^* = 1,149; k^* = 1,330.$$

Таблица 2. Сравнительная симплекс-таблица оптимального решения для летнего и осенне-весеннего периода

Table 2. Comparative simplex table of the optimal solution for the summer and autumn-spring periods

Величина	Свободный член	Свободные переменные		
		$y_2$	$y_4$	$y_5$
$k$	$\frac{1,385}{1,330}$	$\frac{1,684}{1,576}$	$\frac{0,00980}{0,01040}$	$\frac{0,00990}{0,00590}$
Базисные переменные				
$k_N$	$\frac{5,124}{5,079}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{-1}{-1}$
$t_{\Pi}^a$	$\frac{3,929}{4,116}$	$\frac{1,578}{1,739}$	$\frac{0,637}{0,642}$	$\frac{0,205}{0,202}$
$t_p$	$\frac{19,467}{18,193}$	$\frac{-25,489}{-32,254}$	$\frac{5,860}{6,644}$	$\frac{-3,313}{-3,742}$
$y_1$	$\frac{0,166}{0,150}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
$y_3$	$\frac{0,312}{0,310}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{0}{0}$
$y_6$	$\frac{1,529}{1,519}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{1}$

Примечание. В числителе – для летнего периода года, в знаменателе – для осенне-весеннего.

Таблица 3. Результаты расчета соотношений оптимизируемых показателей, функционального критерия и обобщенного показателя качества функционирования ЭАК в летний и осенне-весенний период ( $k_N^* = 6,60$ )

Table 3. The results of calculating the ratios of the optimized indicators, the functional criterion and the generalized indicator of the STS operation quality in the summer and autumn-spring periods ( $k_N^* = 6,60$ )

$t_p$ , мин	$\frac{24,35}{27,28}$	$\frac{25,0}{28,04}$	$\frac{25,5}{28,61}$	$\frac{26,0}{29,19}$	$\frac{26,5}{29,77}$	$\frac{27,0}{30,34}$	$\frac{27,5}{30,92}$	$\frac{28,0}{31,50}$	$\frac{28,58}{32,17}$
$t_{\Pi}^a$ , мин	$\frac{3,627}{3,626}$	$\frac{3,587}{3,585}$	$\frac{3,556}{3,554}$	$\frac{3,525}{3,523}$	$\frac{3,494}{3,491}$	$\frac{3,463}{3,461}$	$\frac{3,432}{3,429}$	$\frac{3,401}{3,398}$	$\frac{3,365}{3,363}$
$\lambda$	$\frac{0,983}{0,877}$	$\frac{0,947}{0,844}$	$\frac{0,920}{0,820}$	$\frac{0,895}{0,797}$	$\frac{0,870}{0,774}$	$\frac{0,847}{0,753}$	$\frac{0,824}{0,732}$	$\frac{0,802}{0,712}$	$\frac{0,777}{0,690}$
$k$	$\frac{1,355}{1,155}$	$\frac{1,312}{1,118}$	$\frac{1,279}{1,090}$	$\frac{1,246}{1,062}$	$\frac{1,213}{1,033}$	$\frac{1,180}{1,005}$	$\frac{1,147}{0,977}$	$\frac{1,114}{0,949}$	$\frac{1,076}{0,916}$

Примечание. В числителе – фактические показатели работы ЭАК в летний период; в знаменателе – в осенне-весенний.

Если по аналогии с летним периодом [10] считать оптимальным не минимальное, а максимальное значение  $k_N = 6,600$ , тогда оптимальным решением будет следующее:

$$k_N^* = 6,600; t_{\Pi}^{a*} = 3,809 \text{ мин}; t_p^* = 23,88 \text{ мин}; \lambda^* = 1,053; k^* = 1,321, \quad (3)$$

Аналогичное решение для летнего периода [10]:

$$k_N^* = 6,653; k_{\Pi}^{a*} = 3,616 \text{ мин}; t_p^* = 24,53 \text{ мин}; \lambda^* = 0,981; k^* = 1,370. \quad (4)$$

Из оптимальных решений для летнего (4) и осенне-весеннего (3) периодов года видно, что значения  $k_N^*$  не совпадают. Это означает, что в летний период количество самосвалов для обслуживания одного и того же количества экскаваторов должно быть больше, чем в осенне-весенний. Причиной этого является большая продолжительность рейса  $t_p$  в осенне-весенний период из-за меньшей скорости

движения, а значит, пониженная оборачиваемость самосвалов.

Однако такой сезонный пересмотр структуры парков в ЭАК нецелесообразен. Есть смысл оставить одно значение показателя  $k_N$ . Очевидно, это будет меньшее значение  $k_N^* = 6,60$ , поскольку для осенне-весеннего периода это максимально возможное значение. А вот величина  $k_N^*$  для летнего периода, равная 6,653, может быть уменьшена. Уменьшение значения  $k_N^*$  с 6,653 до 6,60 означает, что в соответствии с запасом по ограничению по производительности ЭАК [10] его снижение будет составлять не 1,529 (максимальное), а 1,474. Пропорционально этому коэффициенту изменятся и величины  $t_{\Pi}^a$  и  $t_p$ . Значение  $t_{\Pi}^a$  будет составлять 3,627 мин, а  $t_p = 24,35$  мин.

Значение функционального критерия будет равно  $\lambda = 0,983$ , а обобщенного показателя качества –  $k = 1,355$ .

Тогда оптимальные решения для летнего и осенне-весеннего периодов года соответственно будут иметь вид:

$k_N^* = 6,60$ ;  $k_n^{\Delta} = 3,627$  мин;  $t_p^* = 24,35$  мин;  $\lambda^* = 0,983$ ;  $k^* = 1,355$ ;

$k_N^* = 6,60$ ;  $k_n^{\Delta} = 3,809$  мин;  $t_p^* = 23,88$  мин;  $\lambda^* = 1,053$ ;  $k^* = 1,321$ , (5)

Следующая сложность состоит в том, что фактические значения продолжительности рейса в осенне-весенний период заметно выше оптимального значения  $t_p^* = 23,88$  мин (5). Для установления взаимосвязи между продолжительностью рейса в летний и осенне-весенний период проведем статистическую обработку соответствующих данных, приведенных в табл. 1.

Уравнение связи имеет вид:  $t_p^{0-B} = 1,154t_p^{\Delta} - 0,815 \pm 0,097$ , где  $t_p^{\Delta}$ ,  $t_p^{0-B}$  – продолжительность рейса самосвала в летний и переходный периоды года соответственно.

Изменение значения показателя  $t_p$  влечет за собой изменения в значениях  $t_n^{\Delta}$ ,  $\lambda$  и  $k$  по сравнению с оптимальным решением (5). Имеем (табл. 2): коэффициент сокращения равен 0,105, тогда  $t_n^{\Delta} = 3,627$  мин;  $\lambda = 0,877$ ;  $k = 1,155$ .

Результаты расчетов  $t_p^{0-B}$  при задаваемых значениях продолжительности рейса  $t_p^{\Delta}$  приведены в табл. 3. Жирным шрифтом в таблице показаны минимальные, максимальные и рекомендуемые значения.

Для получения полных данных по соотношениям оптимизируемых показателей, функционального критерия и обобщенного показателя качества функционирования ЭАК для задаваемых значений продолжительности рейса  $t_p^{\Delta}$  соответствующие расчеты проводятся аналогично. Результаты также представлены в табл. 3.

Сравнительный анализ работы ЭАК в летний и осенне-весенний периоды года показывает (табл. 3), что продолжительность рейса самосвалов  $t_p$  в осенне-весенний период в среднем на 11% больше, чем в летний; время загрузки самосвала экскаватором  $t_n^{\Delta}$  не изменяется; функциональный критерий  $\lambda$  – снижается на 11%, а обобщенный коэффициент качества функционирования ЭАК  $k$  – на 14,8%.

В работах [11, 14] указывается, что в горной промышленности являются целесообразными значения сравнительного фактора (в данном случае функционального критерия  $\lambda$ ) меньше 1,0 (оптимальное значение), что соответствует меньшим по численности паркам карьерных самосвалов. При этом, хотя и увеличиваются простой экскаваторов, зато существенно снижаются эксплуатационные расходы, большая часть которых на карьерах приходится именно на автотранспорт.

Приемлемыми являются все значения  $\lambda \geq 0,9$  (для летнего периода работы ЭАК это:  $t_p^{max} = 26,0$  мин;  $t_n^{\Delta min} = 3,525$  мин;  $\lambda^* = 0,895$ ;  $k^* = 1,246$ ). Значение обобщенного показателя качества функционирования ЭАК  $k = 1,246$  в этом случае превышает наилучшее значение для разрезов Компании  $k = 0,879$  (разрез «Краснобродский») на 29,5% и на 50,7% выше,

чем в целом по Компании ( $k = 0,614$ ). Помимо оптимального и приведенного выше вариантов целесообразно рассмотреть также вариант с максимально возможным значением продолжительности рейса  $t_p^{max} = 28,58$  мин (худший вариант). Несмотря на то, что значение функционального критерия в этом случае составляет лишь  $\lambda = 0,777$ , это все равно на 9,4% выше, чем достигнуто у лучшего по этому критерию разреза «Талдинский» ( $\lambda = 0,704$ ), а значение обобщенного показателя  $k = 1,062$  на 17,2% выше, чем достигнуто на лучшем разрезе «Краснобродский» ( $k = 0,879$ ).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cetin, N. Open-pit truck/shovel haulage system simulation : PhD thesis. – Middle East Technical University, Ankara, 2004.
2. Krause, A.J. Shovel-truck cycle simulation methods in surface mining : M. S. thesis. – University of the Witwatersrand, Johannesburg, 2006.
3. Stout, C.E. Simulation of a large multi-pit mining operation : MSc thesis. – The University of Montana, Missoula, 2011.
4. Вуейкова, О.Н. Обоснование рациональной структуры автомобильно-экскаваторного комплекса открытого горнорудного карьера : дис. ... канд. техн. наук. – ЮУрГУ, Оренбург, 2013.
5. Воронов, Ю.Е. Оптимальное проектирование карьерных горных машин. – М. : Инновационное машиностроение, 2015. – 351 с.
6. Voronov, Y. Functional quality criterion of rock handling mechanization at open-pit mines / Y. Voronov, Artyom Voronov // The 11th International Innovative Mining Symposium (Devoted to Russian Federation Year of Environment), Kemerovo, Russian Federation, November 20-22, 2017. – E3S Web of Conferences, Volume 21.
7. Воронов, Ю.Е. Функциональный критерий качества функционирования карьерного экскаваторно-автомобильного комплекса / Ю.Е. Воронов, А.А. Хорешок, Артем Ю. Воронов, Н.А. Степина, Антон Ю. Воронов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2019. – № 3. – С. 54-60.
8. Dindarloo, S. A stochastic simulation framework for truck and shovel selection and sizing in open pit mines / S. Dindarloo, M. Osanloo, S. Frimpong // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – Mar 2015. – Vol. 115. – P. 209-219.
9. Зарипова, С.В. Оптимизация работы экскаваторно-автомобильных комплексов // Известия вузов. Горный журнал. – 2007. – № 3. – С. 105-108.
10. Воронов, Антон Ю. Оптимизация показателей функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов по критерию качества / Антон Ю. Воронов, А. А. Хорешок, Ю. Е. Воронов, В. Г. Ромашко, Артем Ю. Воронов // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 6. – С. 19-24.

11. Воронов, Артем Ю. Оптимизация показателей эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов : дис. ... канд. техн. наук. – КузГТУ, Кемерово, 2015.

12. Воронов, Антон Ю. Оценка качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов Кузбасса / Антон Ю. Воронов, А.А. Хорешок, Ю.Е. Воронов, А.В. Буянкин, Артем Ю. Воронов // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 2. – С. 19-26.

13. Воронов, Антон Ю. Математическая модель оптимизации работы карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 2. – С. 13-18.

14. Burt, C.N. Match factor for heterogeneous truck and loader fleets / C. N. Burt, L. Caccetta // International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. – 2007. – Vol. 21, № 4. – P. 262-270.

**Anton Y. Voronov**<sup>1</sup>, **Valeri I. Nesterov**, Dr. Sc. in Engineering, Professor, **Yuri E. Voronov**<sup>2</sup>, Dr. Sc. in Engineering, Professor, **Vladimir G. Romashko**<sup>2</sup>, C. Sc. in Engineering, **Artyom Y. Voronov**<sup>2</sup>, C. Sc. in Engineering

<sup>1</sup>АО «УК «Кузбассразрезуголь», 4a avenue Pionersky, Kemerovo, 650054, Russia

<sup>2</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russia

## COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE OPERATION QUALITY OF SHOVEL-TRUCK SYSTEMS AT OPEN-PIT COAL MINES IN THE SUMMER AND TRANSITIONAL SEASONS

**Abstract:** *The urgency of the discussed issue. The operation quality of shovel-truck systems (STSs) at open-pit coal mines in the summer and transitional autumn-spring periods differs markedly. This is due to a decrease in the speed of haul trucks during the transitional season compared to the summer season. This leads to an increase in the travel time of trucks. Shovels and trucks must work longer to ensure the planned volumes of loading and transportation and the required number of hauls. Consequently, the duration of the working shift (or day) increases. This leads to a deterioration in the STS performance in the autumn-spring period. A quantitative assessment of changes in the STS operation quality will reveal the directions of its improvement.*

**The main aim of the study.** *Comparative assessment of the STS operation quality at open-pit coal mines of Kuzbass in different periods of operation.*

**The methods used in the study.** *Modern methods of data collection and processing, mathematical modeling, analysis and synthesis were used.*

**The results.** *Comparative analysis of the STS operation in the summer and autumn-spring periods shows that the duration of truck hauls in the autumn-spring period is on average 11,0% longer than in the summer period; truck loading time does not change; the functional criterion decreases by 11,0%, and the generalized quality factor of the STS operation decreases by 14,8%. The functional criterion values acceptable for the mining industry are 0,9 and higher. The value of the generalized indicator of the STS operation quality in this case exceeds the best one achieved by the Company at the optimal values of the truck haul duration by 29,5% and the average one in the Company by 50,7%. The use of even the worst option at the maximum possible value of the haul duration gives an increase in the functional criterion by 9,4%, and in the value of the generalized indicator of the STS operation quality – by 17,2%.*

**Keywords:** *shovel-truck systems; operation quality criterion; operation quality; optimization of indicators; summer and transitional periods of operation.*

**Article info:** received February 02, 2021

DOI: 10.26730/1816-4528-2021-2-11-16

### REFERENCES

1. Cetin, N. Open-pit truck/shovel haulage system simulation. PhD thesis. Ankara: Middle East Technical University, 2004.

2. Krause, A.J. Shovel-truck cycle simulation methods in surface mining. MSc thesis. Johannesburg: University of the Witwatersrand, 2006.

3. Stout, C.E. Simulation of a large multi-pit mining operation. MSc thesis. Missoula: The University of Montana, 2011.

4. Vueykova, O.N. Obosnovanie ratsionalnoi struktury avtomobilno-ekskavatornogo kompleksa otkrytogo gornorudnogo kariera [Justification of the rational structure of the truck-shovel system at an

open-pit ore mine]. PhD thesis. Orenburg: SUrSU, 2013. (rus)

5. Voronov, Y. E. Optimalnoe proektirovanie gornyh kariernyh mashin [Optimal design of open-pit mining machines]. Moscow: Innovative Engineering, 2015. 351 p. (rus)

6. Voronov, Yu. Functional quality criterion of rock handling mechanization at open-pit mines / Yu. Voronov, Artyom Voronov // The IInd International Innovative Mining Symposium (Devoted to Russian Federation Year of Environment). Kemerovo, Russian Federation, November 20-22, 2017. E3S Web of Conferences, Volume 21.

7. Voronov, Y.E. Funktsionalnyj kriterij kachestva funktsionirovanija kariernogo ekskavatorno-avtomobilnogo kompleksa [Functional quality criterion of the shovel-truck system operation at open-pit mine] / Y.E. Voronov, A.A. Khoreshok, Artyom Y. Voronov, N.A. Stenina, Anton Y. Voronov // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2019. № 3. P. 54-60. (rus)

8. Dindarloo, S. A stochastic simulation framework for truck and shovel selection and sizing in open pit mines / S. Dindarloo, M. Osanloo, S. Frimpong // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Mar 2015. Vol. 115. P. 209-219.

9. Zaripova, S.V. Optimizatsija raboty ekskavatorno-avtomobilnyh kompleksov [Optimization of the shovel-truck system operation]. University news. Mining journal. 2007. № 3. P. 105-108. (rus)

10. Voronov, Anton Y. Optimizatsija pokazatelei funktsionirovanija ekskavatorno-avtomobilnyh

kompleksov razrezov po kriteriju kachestva [Optimizing the indicators of the shovel-truck system operation at open-pit coal mines by quality criterion] / Anton Y. Voronov, A.A. Khoreshok, Y.E. Voronov, V.G. Romashko, Artyom Y. Voronov // Mining Equipment and Electromechanics. 2020. № 6. P. 19-24. (rus)

11. Voronov, Artyom Y. Optimizatsija pokazatelei ekspluatatsionnoi proizvoditelnosti ekskavatorno-avtomobilnyh kompleksov razrezov [Optimization of performance indicators of the shovel-truck systems at open-pit mines]. PhD thesis. Kemerovo: KuzSTU, 2015. (rus)

12. Voronov, Anton Y. Otsenka kachestva raboty ekskavatorno-avtomobilnyh kompleksov razrezov Kuzbassa [Assessment of the operation quality of shovel-truck systems at open-pit coal mines in Kuzbass] / Anton Y. Voronov, A.A. Khoreshok, Y.E. Voronov, A.V. Bujankin, Artyom Y. Voronov // Mining Equipment and Electromechanics. 2020. № 2. P. 19-26. (rus)

13. Voronov, Anton Y. Matematicheskaja model optimizatsii raboty kariernyh ekskavatorno-avtomobilnyh kompleksov [A mathematical model for optimization of mining shovel-truck system operation] // Mining Equipment and Electromechanics. 2020. № 2. P. 13-18. (rus)

14. Burt, C.N. Match factor for heterogeneous truck and loader fleets / N. Burt, L. Caccetta // International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. 2007. Vol. 21, № 4. P. 262-270.

#### Библиографическое описание статьи

Воронов А.Ю., Нестеров В.И., Воронов Ю.Е., Ромашко В.Г., Воронов А.Ю. Сравнительная оценка качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов в летний и переходный периоды года // Горное оборудование и электромеханика – 2021. – № 2 (154). – С. 11-16.

#### Reference to article

Voronov A.Y., Nesterov V.I., Voronov Yu.E., Romashko V.G., Voronov A.Y. Comparative assessment of the operation quality of shovel-truck systems at open-pit coal mines in the summer and transitional seasons. Mining Equipment and Electromechanics, 2021, no.2 (154), pp. 11-16.