

# Сравнительная оценка качества функционирования действующих и роботизированных экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов\*

DOI: <http://dx.DOI.org/10.18796/0041-5790-2023-11-65-71>

Системы роботизированных (безлюдных) грузовых перевозок с удаленным управлением уже более 10 лет используются на открытых горных работах. Устранение «человеческого фактора» из производственного процесса, как правило, позволяет повысить его безопасность и производительность, а также снизить эксплуатационные затраты. Таким образом, использование беспилотных автосамосвалов в составе автотранспортных парков карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов (ЭАК), согласно результатам исследований и их практической апробации, показало преимущества роботизированных ЭАК по сравнению с обычными. Сравнительная оценка качества функционирования обычных и роботизированных ЭАК позволяет показать степень этого улучшения. Оценочно установлено, что качество работы ЭАК всех разрезов в роботизированном варианте выше действующих ЭАК от 12% (на разрезе «Кедровский») до 59% (на разрезе «Краснобродский»), составляя в целом 42% по компании «Кузбассразрезуголь». Это свидетельствует о значительном повышении качества функционирования ЭАК при использовании в составе автотранспортных парков ЭАК разрезов беспилотных автосамосвалов.

**Ключевые слова:** карьер, экскаваторно-автомобильный комплекс, беспилотный карьерный самосвал, сравнительная оценка качества.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 №075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в рамках Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

## БОРОНОВ Ю.Е.

Доктор техн. наук, профессор,  
профессор кафедры ЭА  
КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: vyue.ap@kuzstu.ru

## БОРОНОВ А.Ю.

Канд. техн. наук, доцент,  
доцент кафедры ЭА  
КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: voronovayu@kuzstu.ru

## ДУБИНКИН Д.М.

Канд. техн. наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник  
научного центра «Цифровые технологии»  
КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

## МАКСИМОВА О.С.

Младший научный сотрудник  
научного центра «Цифровые технологии»  
КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: maksimovaos@kuzstu.ru



**Для цитирования:** Сравнительная оценка качества действующих и роботизированных экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов / Ю.Е. Воронов, А.Ю. Воронов, Д.М. Дубинкин и др. Уголь. 2023. № 11. С. 65-71. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-65-71.

**ВВЕДЕНИЕ**

Сравнительная оценка качества работы действующих и роботизированных ЭАК применительно к разрезам, входящим в состав УК «Кузбассразрезуголь», производится при следующих условиях.

Базой для исследования являются сводные отчеты о работе действующих ЭАК разрезов и в целом по Компании, приведенные в работе [1]. Параллельно рассматривалась работа автотранспортных парков ЭАК, составленных из беспилотных карьерных самосвалов (КС).

Анализ исследований [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20] работы автотранспорта по безлюдной технологии свидетельствует о следующих данных:

- производительность беспилотных КС до 20% выше, чем у обычных;
- степень использования беспилотных КС превышает 90%, поскольку они практически не простаивают и работают в среднем на 2,5 ч дольше обычных КС;
- КС может двигаться без остановок 24 ч, совершая до 500 дополнительных технологических циклов.

Исходя из этих предпосылок, продолжительность рабочей смены (суток)  $T_{см}$  принималась максимально возможной, но не превышающей фактическую более чем на 2,5 ч. В результате продолжительность рабочей смены (суток)  $T_{см}$  была увеличена на +0,6 ч для разреза «Кедровский», до +1,9 ч на разрезах «Моховский» и «Бачатский», +2,3 ч на разрезе «Краснобродский», +2,5 ч на разрезах «Талдинский» и «Калтанский», составляя в целом по Компании +2,3 ч (табл. 1).

Соответственно изменилось количество рейсов, которые потенциально могут выполнить беспилотные КС по сравнению с фактическими данными. Увеличение числа рейсов составило от 13 до 20% при среднем значении 17,5% (см. табл. 1).

Простои экскаваторов  $t_{пр}^э$ , расстояния транспортирования  $L_{тр}$ , время погрузки КС экскаваторами  $t_{пр}^э$ , время груженого  $t_{гр}$  и порожнего  $t_{пор}$  пробега КС и время разгрузки  $t_{разгр}$  в расчете на один рейс остаются без изменений (см. табл. 1). Продолжительность рейса  $t_p$  несколько уменьшилась благодаря отсутствию затрат времени на ожидание погрузки. Значительно сокращаются простои КС  $t_{пр}^к$  и общие внутрисменные простои техники  $t_{пр}^т$ . В результате однозначно увеличился коэффициент эксплуатационной производительности  $k_{ЭАК}$  (см. табл. 1), и изменился как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения функциональный критерий  $\lambda$ .

В общей сложности к рассмотрению приняты сводные отчеты о работе фактических ЭАК разрезов, входящих в состав УК «Кузбассразрезуголь», а также сводные отчеты о работе ЭАК с применением беспилотных КС вместо обычных, полученные путем пересчета указанных выше величин для фактических данных. Сводный отчет о работе дей-

ствующих и роботизированных ЭАК разрезов и УК «Кузбассразрезуголь» в целом приведен в табл. 1.

Таблица 1

**Сводный отчет о работе действующих и роботизированных ЭАК применительно к условиям УК «Кузбассразрезуголь»**

Summary report on the operation of existing and robotized STS for the conditions of the Kuzbassrazrezugol JSC

Показатели	Всего по разрезу, в том числе:	На один КС	На один рейс
Общие внутрисменные простои техники, $t_{пр}^т$ мин	<b>Разрез «Кедровский»</b> (31 КС; 1064/1277 рейсов; $k_{ЭАК} = 0,888/0,905; \lambda = 0,597/0,609$		
	4820/4607	155,5/148,6	4,5/3,6
	<b>Разрез «Моховский»</b> (28 КС; 1632/1958 рейсов; $k_{ЭАК} = 0,894/0,947; \lambda = 0,597/0,609$		
	4874/2636	174,1/94,1	3,0/1,4
	<b>Разрез «Бачатский»</b> (67 КС; 1833/2200 рейсов; $k_{ЭАК} = 0,922/0,970; \lambda = 0,500/0,497$		
	7114/2995	106,2/44,7	3,9/1,4
	<b>Разрез «Краснобродский»</b> (93 КС; 3518/3975 рейсов; $k_{ЭАК} = 0,968/0,976; \lambda = 0,682/0,676$		
	4209/3517	45,3/37,8	1,2/0,9
	<b>Разрез «Талдинский»</b> (91 КС; 3372/4046 рейсов; $k_{ЭАК} = 0,946/0,962; \lambda = 0,704/0,718$		
	6376/5000	70,1/54,9	1,9/1,2
<b>Разрез «Калтанский»</b> (31 КС; 1241/1427 рейсов; $k_{ЭАК} = 0,964/0,967; \lambda = 0,410/0,417$			
1741/1824	56,2/58,8	1,4/1,3	
<b>УК «Кузбассразрезуголь»</b> (341 КС; 12660/14883 рейса; $k_{ЭАК} = 0,939/0,961; \lambda = 0,591/0,587$			
29135/20579	85,4/60,3	2,3/1,4	
Простои КС, $t_{пр}^к$ мин	Разрез «Кедровский»		
	2126/1913	68,6/61,7	2,0/1,5
	Разрез «Моховский»		
	1022/553	36,5/19,8	0,6/0,3
	Разрез «Бачатский»		
	5620/1501	83,9/28,4	3,1/0,7
	Разрез «Краснобродский»		
	1947/1255	20,9/13,5	0,5/0,3
	Разрез «Талдинский»		
	2818/1442	31/15,8	0,8/0,4
Разрез «Калтанский»			
457/354	14,8/11,4	0,4/0,25	
УК «Кузбассразрезуголь»			
29135/20579	41/20,6	1,1/0,5	

Продолжение табл. 1

Показатели	Всего по разрезу, в том числе:	На один КС	На один рейс
Простои экскаваторов, $t_{пр}^э$ , мин	Разрез «Кедровский»		
	2694	86,9	2,5/2,1
	Разрез «Моховский»		
	3853/2080	137,6/74,3	2,4/1,1
	Разрез «Бачатский»		
	1494	22,3	0,8/0,7
	Разрез «Краснобродский»		
	2262	24,3	0,6
	Разрез «Талдинский»		
	3558	39,1	0,9
	Разрез «Калтанский»		
1471	47,4	1,2	
УК «Кузбассразрезуголь»			
15331/13568	45/39,8	1,2/0,9	
Расстояние транспортирования, $L_{тр}$ , км	Разрез «Кедровский»		
	3714/4457	119,8/143,8	3,5
	Разрез «Моховский»		
	3361/4033	120/144	2,1
	Разрез «Бачатский»		
	10611/12739	158,4/190	5,8
	Разрез «Краснобродский»		
	16182/18286	174/195,8	4,6
	Разрез «Талдинский»		
	13072/15686	143,6/172,4	3,9
	Разрез «Калтанский»		
4722/5430	152,3/175,2	3,8	
УК «Кузбассразрезуголь»			
51661/60625	151,5/177,8	4,1	
Время погрузки, $t_{пр}^э$ , мин	Разрез «Кедровский»		
	4004/4805	129,2/155,0	3,8
	Разрез «Моховский»		
	6041/7248	215,8/258,8	3,7
	Разрез «Бачатский»		
	4528/5433	67,6/81,1	2,5
	Разрез «Краснобродский»		
	9567/10811	102,9/116,2	2,7
	Разрез «Талдинский»		
	9750/11700	107,1/128,6	2,9
	Разрез «Калтанский»		
4448/5115	143,5/165,0	3,6	
УК «Кузбассразрезуголь»			
38337/45112	112,4/132,3	3,0	

Продолжение табл. 1

Показатели	Всего по разрезу, в том числе:	На один КС	На один рейс
Время груженого пробега, $t_{гр}$ , мин	Разрез «Кедровский»		
	15531/16208	501,0/522,8	14,6/12,7
	Разрез «Моховский»		
	11639/13966	415,7/498,8	7,1
	Разрез «Бачатский»		
	36689/44024	547,6/657,1	20
	Разрез «Краснобродский»		
	55997/63276	602,1/680,4	15,9
	Разрез «Талдинский»		
	45022/54026	494,7/593,7	13,4
	Разрез «Калтанский»		
16282/18724	525,2/604,0	13,1	
УК «Кузбассразрезуголь»			
179131/210224	525,3/616,5	14,1	
Время разгрузки, $t_{разг}$ , мин	Разрез «Кедровский»		
	874/1050	28,2/33,9	0,8
	Разрез «Моховский»		
	1530/1836	54,7/65,6	0,9
	Разрез «Бачатский»		
	1690/2028	25,2/30,3	0,9
	Разрез «Краснобродский»		
	2880/3745	31/40,3	0,9
	Разрез «Талдинский»		
	2761/3313	30,3/36,4	0,8
	Разрез «Калтанский»		
1091/1254	35,2/40,5	0,9	
УК «Кузбассразрезуголь»			
10826/13226	31,7/38,8	0,9	
Время порожнего пробега, $t_{пор}$ , мин	Разрез «Кедровский»		
	11515/12018	371,5/387,7	10,8/9,4
	Разрез «Моховский»		
	9395/11274	335,5/402,6	5,8
	Разрез «Бачатский»		
	27965/33558	417,4/500,9	15,3
	Разрез «Краснобродский»		
	42573/48107	457,8/517,3	12,1
	Разрез «Талдинский»		
	34307/41168	377/432,4	10,2
	Разрез «Калтанский»		
12500/14375	403,2/463,7	10,1	
УК «Кузбассразрезуголь»			
136752/160500	401/470,7	10,8	

Продолжение табл. 1

Окончание табл. 1

Показатели	Всего по разрезу, в том числе:	На один КС	На один рейс
Продолжительность рейса, $t_p$ , мин	Разрез «Кедровский»		
	32784/34081	1057,6/1099,4	30,8/27,5
	Разрез «Моховский»		
	28960/34324	1034,3/1225,8	17,7/17,5
	Разрез «Бачатский»		
	73142/85043	1034,3/1225,8	39,9/38,6
	Разрез «Краснобродский»		
	112348/125939	1208/1354,2	31,9/31,7
	Разрез «Талдинский»		
	95126/110206	1045/1211	28,2/27,3
	Разрез «Калтанский»		
	34908/39468	1126,1/1273,1	28,1/28,1
	УК «Кузбассразрезуголь»		
373741/429061	1096/1258,2	29,5/28,8	

Показатели	Всего по разрезу, в том числе:	На один КС	На один рейс
Время рейса с учетом простоев техники, $(t_p + t_{пр}^T)$ , мин	Разрез «Кедровский»		
	37704/38688	1213/1248	(20,2/20,8 ч)
	Разрез «Моховский»		
	33835/36960	1208/1320	(20,1/22,0 ч)
	Разрез «Бачатский»		
	80256/88038	1198/1314	(20,0/21,9 ч)
	Разрез «Краснобродский»		
	116557/129456	1253/1392	(20,9/(23,2 ч)
	Разрез «Талдинский»		
	101502/115206	1115/1266	(18,6/21,1 ч)
	Разрез «Калтанский»		
	36649/41292	1182/1332	(19,7/(22,2 ч)
	УК «Кузбассразрезуголь»		
402876/449964	1181/1318	(19,7/22,0 ч)	

Примечание: здесь и далее в числителе – показатели работы действующих ЭАК; в знаменателе – роботизированных ЭАК.

Далее приводятся: функциональный критерий, исходные расчетные показатели работы ЭАК (табл. 2), удельные значения показателей качества работы ЭАК, из которых выбираются базовые показатели эталонного разреза.

Поскольку производится сравнение качества функционирования роботизированных ЭАК с действующими, в качестве базы для оценки приняты значения для действующих ЭАК. Оценка качества работы ЭАК производится по формулам методики Г.И. Солода [21].

Особенная зависимость для определения комплексного показателя качества работы ЭАК разреза имеет следующий вид:

$$k_m = \frac{1}{(n-1)\sum_1^N q_{mn}} \sqrt{n \sum_1^N \left[ q_{mn} \left( \sum_1^N q_{mn} - q_{mn} \right) \right]^2}$$

где  $n$  – количество единичных показателей качества;  $N$  – количество рассматриваемых разрезов;  $q_{mn}$  – уровень качества по каждому единичному показателю на каждом разрезе.

Таблица 2

**Исходные расчетные показатели работы ЭАК**

Initial calculated indicators of the STS performance

Показатели	Разрезы					
	«Кедровский»	«Моховский»	«Бачатский»	«Краснобродский»	«Талдинский»	«Калтанский»
Показатель производительности экскаваторного парка, $\Pi^3$ , м <sup>3</sup> /мин	40,32	21,14	64,19	45,24	50,18	29,20
Показатель производительности автотранспортного парка, $\Pi^c$ , м <sup>3</sup> /мин	<u>4,52</u>	<u>4,02</u>	<u>3,57</u>	<u>3,51</u>	<u>4,14</u>	<u>4,0</u>
	4,65	4,07	3,70	3,54	4,28	4,06
Эксплуатационная скорость КС автотранспортного парка в течение смены, $\vartheta$ , км/ч	<u>13,08</u>	<u>11,92</u>	<u>15,87</u>	<u>16,66</u>	<u>15,47</u>	<u>15,44</u>
	13,82	13,35	17,39	16,95	16,44	15,76
Доля простоев техники в продолжительности рабочей смены, $k_{пр}^{\Sigma}$	<u>0,167</u>	<u>0,155</u>	<u>0,117</u>	<u>0,048</u>	<u>0,095</u>	<u>0,064</u>
	0,119	0,071	0,034	0,027	0,043	0,044
Соотношение простоев экскаваторов и КС $k_{пр}^{\Sigma-c}$	<u>0,902</u>	<u>2,796</u>	<u>0,189</u>	<u>0,690</u>	<u>0,583</u>	<u>1,409</u>
	1,408	3,761	0,995	1,802	2,467	4,153
Соотношение времени работы и простоев (показатель производительного использования) экскаваторного парка, $k_p^{\Sigma}$	<u>1,486</u>	<u>1,569</u>	<u>3,031</u>	<u>4,229</u>	<u>2,740</u>	<u>3,024</u>
	1,809	3,364	3,571	4,500	3,222	3,600
Соотношение времени работы и простоев (показатель производительного использования) автотранспортного парка, $k_p^c$	<u>9,51</u>	<u>20,77</u>	<u>8,98</u>	<u>33,86</u>	<u>15,04</u>	<u>32,88</u>
	17,80	58,33	55,15	105,7	68,25	110,8

Единичные и обобщенные показатели качества работы ЭАК  
Single and generalized indicators of the STS operation quality

Показатели		Разрезы					
		«Краснобродский»	«Талдинский»	«Бачатский»	«Кедровский»	«Моховский»	«Калтанский»
Единичные показатели	$q_1(\Pi^3)$	<u>0,873</u> 0,865	<u>1,0</u> 1,018	<u>0,907</u> 0,904	<u>0,682</u> 0,695	<u>0,391</u> 0,374	<u>0,339</u> 0,345
	$q_2(\Pi^c)$	<u>0,823</u> 0,821	<u>1,0</u> 1,055	<u>0,613</u> 0,631	<u>0,925</u> 0,972	<u>0,900</u> 0,873	<u>0,562</u> 0,580
	$q_3(\vartheta_3)$	<u>1,0</u> 1,008	<u>0,959</u> 1,039	<u>0,698</u> 0,761	<u>0,687</u> 0,741	<u>0,685</u> 0,734	<u>0,557</u> 0,578
	$q_4(k_{np}^{\Sigma})$	<u>1,0</u> 1,750	<u>0,519</u> 1,167	<u>0,299</u> 1,029	<u>0,250</u> 0,359	<u>0,295</u> 0,614	<u>0,452</u> 0,660
	$q_5(k_{np}^{\Sigma-c})$	<u>0,374</u> 0,142	<u>0,457</u> 0,110	<u>1,0</u> 0,189	<u>0,250</u> 0,163	<u>0,088</u> 0,063	<u>0,110</u> 0,038
	$q_6(k_p^3)$	<u>1,0</u> 1,055	<u>0,670</u> 0,803	<u>0,526</u> 0,616	<u>0,308</u> 0,382	<u>0,356</u> 0,729	<u>0,430</u> 0,521
	$q_7(k_p^c)$	<u>1,0</u> 3,093	<u>0,459</u> 2,123	<u>0,194</u> 1,186	<u>0,246</u> 0,470	<u>0,588</u> 1,580	<u>0,584</u> 2,005
Обобщенный показатель	$k_m$	<u>0,879</u> 1,397	<u>0,737</u> 1,092	<u>0,626</u> 0,784	<u>0,499</u> 0,560	<u>0,494</u> 0,747	<u>0,446</u> 0,696

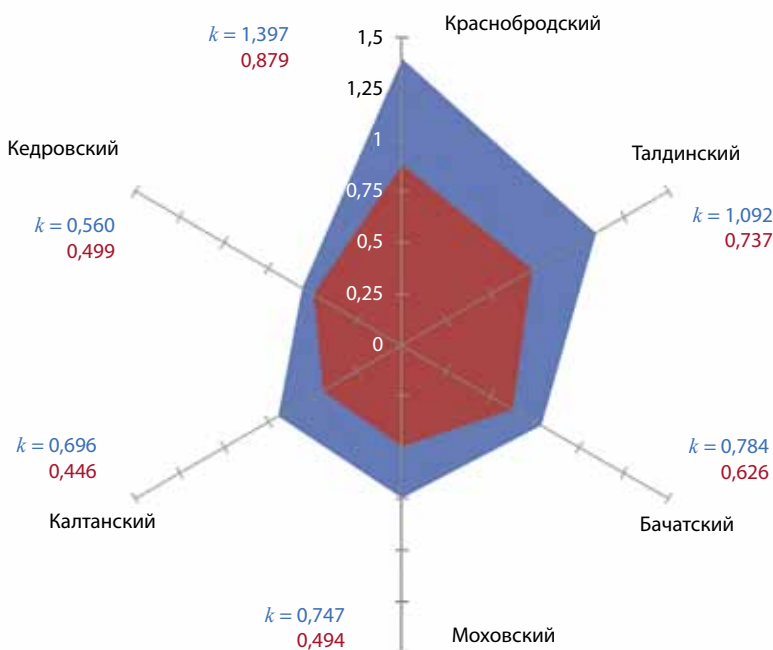


Диаграмма обобщенного показателя качества работы ЭАК разрезов УК «Кузбассразрезуголь» (синим цветом – роботизированных; красным – действующих)

Diagram of the generalized indicator of the STS operation quality at the Kuzbassrazrezugol JSC mines (blue is for robotized STS; red is for existing STS)

Результаты расчета представлены в табл. 3. При этом в табл. 3 разрезы ранжированы по обобщенному показателю.

Результаты расчета показателей качества работы действующих и роботизированных ЭАК удобно представить по аналогии с диаграммой, представленной на рис. 2.3 в работе [1] (см. рисунок).

Анализ значений единичного показателя  $q_1(\Pi^3)$ , характеризующего возможности экскаваторного парка ЭАК разреза в плане обеспечения погрузки требуемого объема горной массы (см. табл. 3),  $q_2(\Pi^c)$ , отражающего возможности автотранспортных парков ЭАК,  $q_3(\vartheta_3)$ , отражающего влияние эксплуатационной скорости КС на уровень качества работы ЭАК,  $q_6(k_p^3)$ , отражающего эффективность соотношения производительного (работа) и непроизводительного (простои) использования экскаваторной техники, показывает незначительное увеличение уровня качества, поскольку эти показатели при переходе к роботизированному варианту при заданных условиях не изменяются или изменяются мало (см. табл. 2).

Значительно уменьшились значения показателя  $q_5(k_{np}^{\Sigma-c})$ , характеризующего соотношение простоев экскаваторов и КС и показы-

вающего степень влияния его на качество работы ЭАК (см. табл. 3). Это уменьшение связано с существенным сокращением простоев автотранспортных парков при сохранении практически без изменений простоев экскаваторных парков роботизированных ЭАК.

Особенно сильно улучшаются для роботизированного варианта показатели  $q_4(k_{пр}^{\Sigma})$  и  $q_7(k_p^c)$ , характеризующие влияние суммарных простоев погрузочно-транспортной техники на качество работы ЭАК и рациональность соотношения рабочего времени и простоев автотранспортных парков соответственно.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате ЭАК всех разрезов в роботизированном варианте работают лучше действующих от 12% на разрезе «Кедровский» и до 59% на разрезе «Краснобродский», составляя в целом по Компании 42%.

Это свидетельствует о значительном повышении качества функционирования ЭАК при использовании в составе автотранспортных парков ЭАК разрезов беспилотных КС.

### Список литературы

1. Оценка качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов Кузбасса / А.Ю. Воронов, А.А. Хорешок, Ю.Е. Воронов и др. // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 2. С. 19-26. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-2-19-26.
2. Воронов А.Ю., Стенина Н.А., Воронов Ю.Е. Системы диспетчеризации на карьерах: прошлое, настоящее и будущее // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 4. С. 41-47. DOI: 10.26730/1816-4528-2019-4-40-47.
3. Воронов А.Ю., Воронов Ю.Е. Современное состояние и перспективы развития роботизированных грузоперевозок на карьерах // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 6. С. 16-24. DOI: 10.26730/1816-4528-2019-6-16-24.
4. Цифровая экономика Западной Австралии – умные горнорудные и нефтегазовые предприятия, железные дороги, морские порты и формализованные онтологии / И.А. Соколов, А.С. Мишарин, В.П. Куприяновский и др. // International Journal of Open Information Technologies. 2018. Т. 6. № 6. С. 44-62.
5. Мониторинг динамического состояния автономных тяжелых платформ на карьерных маршрутах горнорудных предприятий / С.Г. Костюк, И.В. Чичерин, Б.А. Федосенков и др. // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. № 4. С. 600-608. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-600-608.
6. Об изменении эффективной производительности экскаваторов при использовании карьерных самосвалов с различной вместимостью кузова / А.А. Хорешок, Д.М. Дубинкин, С.О. Марков и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 6. С. 85-93. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93.
7. Об интенсивности изменения производительности автономной тяжелой платформы / М.А. Тюленев, С.О. Марков, Д.М. Дубинкин и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 1. С. 97-108. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-1-97-108.
8. Чичерин И.В., Федосенков Б.А., Дубинкин Д.М. Мониторинг текущих траекторий перемещения автономных тяжелых платформ по карьерным маршрутам горнорудных предприятий // Горная промышленность. 2021. № 5. С. 76-83. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-76-83.
9. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variants of their positioning / V.V. Aksenov, D.M. Dubinkin, A.A. Khoreshok et al. / Journal of Physics: Conference Series: 3, Veliky Novgorod, 06-07 September 2021. Vol. 2052. RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. P. 012001. DOI: 10.1088/1742-6596/2052/1/012001.
10. Обзор систем безлюдных грузовых перевозок на карьерах / А.Ю. Воронов, Ю.Е. Воронов, И.С. Сыркин и др. // Уголь. 2022. № S12. С. 30-36. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-30-36.
11. Оптимизация параметров экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов / А.Ю. Воронов, А.А. Хорешок, Ю.Е. Воронов и др. // Горная промышленность. 2022. № 5. С. 92-98. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.
12. Воронов А.Ю., Дубинкин Д.М., Воронов Ю.Е. Обзор моделей диспетчеризации карьерного автотранспорта // Горная промышленность. 2022. № 6. С. 111-121. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-111-121.
13. Диспетчеризация в карьерных экскаваторно-автомобильных комплексах с беспилотным транспортом / Ю.Е. Воронов, А.Ю. Воронов, Д.М. Дубинкин и др. // Уголь. 2023. № 9. С. 75-83. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-75-83.
14. Gleeson D. Why the Pilbara leads the way in haul truck automation. [Электронный ресурс]. URL: <https://im-mining.com/2019/08/06/pilbara-leads-way-haul-truck-automation/> (дата обращения: 15.10.2023).
15. Parreira J. An interactive simulation model to compare an autonomous haulage truck system with a manually-operated system. PhD thesis, Vancouver, The University of British Columbia, 2013, 228 p.
16. Schmidt D. For the long haul // Coal Age. 2014. No 119. P. 26-29.
17. Кучумова А. Без человека в кабине // Добывающая промышленность. 2019. № 2. С. 92-98.
18. Report 2 – Autonomous mining equipment // New Technology & Innovation. RFC Ambrian, May 2019. 36 p.
19. Brown C. Autonomous vehicle technology in mining // Engineering & Mining Journal. 2012. No 213. P. 30-32.
20. Golbasi O., Dagdelen K. Equipment replacement analysis of manual trucks with autonomous truck technology in open pit mines. APCOM 38. Golden, COL: Colorado School of Mines, 2017. P. 19-9–19-20.
21. Солод Г. И. Основы квалитметрии. М.: МГИ, 1991. 84 с.

Original Paper

UDC 622.23.05 © Yu.E. Voronov, A.Yu. Voronov, D.M. Dubinkin, O.S. Maksimova, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 11, pp. 65-71  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-11-65-71>

**Title****DISPATCHING IN TRUCK-SHOVEL SYSTEMS WITH UNMANNED TRANSPORT AT OPEN-PIT MINES****Authors**

Voronov Yu.E.<sup>1</sup>, Voronov A.Yu.<sup>1</sup>, Dubinkin D.M.<sup>1</sup>, Maksimova O.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

**Authors Information**

**Voronov Yu.E.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
 e-mail: [vyue.ap@kuzstu.ru](mailto:vyue.ap@kuzstu.ru)

**Voronov A.Yu.**, PhD (Engineering), Associate Professor,  
 e-mail: [voronovayu@kuzstu.ru](mailto:voronovayu@kuzstu.ru)

**Dubinkin D.M.**, PhD (Engineering), Associate Professor,  
 Leading Researcher Associate, e-mail: [ddm.tm@kuzstu.ru](mailto:ddm.tm@kuzstu.ru)

**Maksimova O.S.**, Junior Researcher, e-mail: [maksimovaos@kuzstu.ru](mailto:maksimovaos@kuzstu.ru)

**Abstract**

Robotized (or unmanned) cargo transportation systems with remote control have been used in open-pit mining for more than 10 years. Removing the "human element" from the production process usually improves its safety and productivity, as well as reduces operating costs. Thus, the use of unmanned mining dump trucks as part of the motor transport fleets of open-pit shovel-truck systems (STS), according to the results of research and their practical testing, showed the advantages of robotized STSs compared to conventional ones. A comparative assessment of the operation quality for conventional and robotized STSs allows to show the degree of this improvement. It has been estimated that the STS operation quality at all open-pit coal mines in the robotized version is higher than the conventional STS from 12% (at the Kedrovsky Mine) to 59% (at the Krasnobrodsky Mine), totaling 42% for the Kuzbassrazrezugol JSC. This indicates a significant improvement in the STS operation quality when using unmanned mining trucks as part of the STS motor transport fleet at open-pit coal mines.

**Key words**

Open-pit mine, Shovel-truck system, Unmanned mining dump truck, Comparative assessment.

**References**

- Voronov An.Yu., Khoreshok A.A., Voronov Yu.E., Buyankin A.V. & Voronov Ar.Yu. Assessment of the operation quality of shovel-truck systems at open-pit coal mines in Kuzbass. *Gornoe oborudovanie i electromechanika*, 2020, (2), pp. 19-26. (In Russ.).
- Voronov Ar.Yu., Stenina N.A. & Voronov Yu.E. Dispatching systems at open-pit mines: the past, the present and the future. *Gornoe oborudovanie i electromechanika*, 2019, (4), pp. 40-47. (In Russ.).
- Voronov Ar.Yu. & Voronov Yu.E. Current state and development prospects of the autonomous haulage at open-pit mines. *Gornoe oborudovanie i electromechanika*, 2019, (6), pp. 16-24. (In Russ.).
- Sokolov I.A., Misharin A.S., Kupriyanovsky V.P., Pokusaev O.N. & Larin O.N. The digital economy of Western Australia – smart mining, oil, gas enterprises, railways, seaports, and formalized ontologies. *International Journal of Open Information Technologies*, 2018, Vol. 6, (6), pp. 44-62. (In Russ.).
- Kostyuk S.G., Chicherin I.V., Fedosenkov B.A. & Dubinkin D.M. Monitoring of the dynamic state of autonomous heavy platforms on quarry routes of mining enterprises. *Sustainable development of mountain territories*, 2020, Vol. 12, (4), pp. 600-608. (In Russ.). DOI: [10.21177/1998-4502-2020-12-4-600-608](https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-4-600-608).
- Horeshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O. & Tyulenev M.A. On the change in the effective productivity of excavators when using dump trucks with different body capacity. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2021, (6), pp. 85-93. (In Russ.). DOI: [10.26730/1999-4125-2021-6-85-93](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2021-6-85-93).
- Tyulenev M.A., Markov S.O., Dubinkin D.M. & Aksenov V.V. On the intensity of changes in the performance of an autonomous heavy platform. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2021, (1), pp. 97-108. (In Russ.). DOI: [10.26730/1999-4125-2021-1-97-108](https://doi.org/10.26730/1999-4125-2021-1-97-108).
- Chicherin I.V., Fedosenkov B.A. & Dubinkin D.M. Monitoring of current trajectories of movement of autonomous heavy platforms along quarry

routes of mining enterprises. *Mining Industry*, 2021, (5), pp. 76-83. (In Russ.). DOI: [10.30686/1609-9192-2021-5-76-83](https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-5-76-83).

9. Aksenov V.V., Dubinkin D.M., Khoreshok A.A. et al. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variations of their positioning. *Journal of Physics: Conference Series*: 3, Veliky Novgorod, 06-07 September 2021. Vol. 2052. RUS: IOP Publishing Ltd, 2021, P. 012001. DOI: [10.1088/1742-6596/2052/1/012001](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2052/1/012001).

10. Voronov A.Yu., Voronov Yu.E., Syrkin I.S., Nazarenko S.V. & Yunusov I.F. A review of unmanned haulage systems at open-pit mines. *Ugol'*, 2022, (S12), pp. 30-36. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2022-S12-30-36](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-30-36).

11. Voronov A.Yu., Horeshok A.A., Voronov Yu.E. et al. Optimization of parameters of excavator-automobile complexes of sections. *Mining industry*, 2022, (5), pp. 92-98. (In Russ.). DOI: [10.30686/1609-9192-2022-5-92-98](https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-92-98).

12. Voronov A.Yu., Dubinkin D.M. & Voronov Yu.E. Overview of models of dispatching of quarry vehicles. *Mining Industry*, 2022, (6), pp. 111-121. (In Russ.). DOI: [10.30686/1609-9192-2022-6-111-121](https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-6-111-121).

13. Voronov Yu.E., Voronov A.Yu., Dubinkin D.M. & Maksimova O.S. Dispatching in truck-shovel systems with unmanned transport at open-pit mines. *Ugol'*, 2023, (9), pp. 75-83. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-9-75-83](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-75-83).

14. Gleeson D. Why the Pilbara leads the way in haul truck automation. Available at: <https://im-mining.com/2019/08/06/pilbara-leads-way-haul-truck-automation/> (accessed 15.10.2023).

15. Parreira J. An interactive simulation model to compare an autonomous haulage truck system with a manually-operated system. PhD thesis, Vancouver, The University of British Columbia, 2013, 228 p.

16. Schmidt D. For the long haul. *Coal Age*, 2014, (119), pp. 26-29.

17. Kuchumova A. Without a human in the cab. *Dobyvayushchaya promyshlennost*, 2019, (2), pp. 92-98. (In Russ.).

18. Report 2 – Autonomous mining equipment. *New Technology & Innovation. RFC Ambrian*, May 2019, 36 p.

19. Brown C. Autonomous vehicle technology in mining. *Engineering & Mining Journal*, 2012, (213), pp. 30-32.

20. Golbasi O. & Dagdelen K. Equipment replacement analysis of manual trucks with autonomous truck technology in open pit mines. *APCOM 38*. Golden, COL: Colorado School of Mines, 2017, pp. 19-9-19-20.

21. Solod G.I. *Fundamentals of qualimetry*. Moscow, MGI Publ., 1991, 84 p. (In Russ.).

**Acknowledgements**

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation under Agreement № 075-15-2022-1198 dated 30.09.2022 with the Gorbachev Kuzbass State Technical University on complex scientific and technical program of full innovation cycle: "Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life" (the "Clean Coal – Green Kuzbass" Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle) as part of implementing the project "Development and creation of an unmanned shuttle-type mine truck with a payload of 220 tonnes" in terms of research, development and experimental-design work.

**For citation**

Voronov Yu.E., Voronov A.Yu., Dubinkin D.M. & Maksimova O.S. Dispatching in truck-shovel systems with unmanned transport at open-pit mines. *Ugol'*, 2023, (11), pp. 65-71. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-11-65-71](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-11-65-71).

**Paper info**

Received September 22, 2023

Reviewed October 13, 2023

Accepted October 26, 2023