

Воронов Антон Юрьевич¹, Хорешок Алексей Алексеевич², доктор техн. наук, профессор, **Воронов Юрий Евгеньевич²**, доктор техн. наук, профессор, **Буянкин Алексей Владимирович²**, кандидат техн. наук, **Воронов Артем Юрьевич²**, кандидат техн. наук, e-mail: voronovayu@kuzstu.ru

¹АО «УК «Кузбассразрезуголь», 650054, Россия, г. Кемерово, Пионерский бульвар, 4а

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

E-mail: a.voronov@kru.ru

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РАЗРЕЗОВ КУЗБАССА

Аннотация: *Актуальность работы.* Комплексная оценка качества эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов (ЭАК) базируется на известной методике безэкспертной оценки качества горных машин, известной как методика Г.И. Солода. Основываясь на фундаментальных принципах квалиметрии, методика позволяет оценивать функционально-однородные машины разных типоразмеров, типов и конструктивных исполнений на основе функционального критерия машины, определяющего её основное назначение. Методика широко используется для оценки качества карьерных горных машин. В данной работе оценивается качество не отдельной машины, а комплекса машин, учитывающее их взаимодействие. Оценка качества работы ЭАК позволяет создать базу для научно обоснованного выбора приоритетных направлений его повышения и разработки научно обоснованных методов оптимизации их функционирования.

Цель работы. Комплексная оценка качества эксплуатации ЭАК разрезов Кузбасса для его повышения и оптимизации основных показателей работы.

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

Результаты. Комплексная оценка качества обеспечивает возможность прогнозирования его уровня и научно-обоснованного выбора приоритетных направлений совершенствования работы действующих или проектируемых ЭАК.

Ключевые слова: открытые горные работы; экскаваторно-автомобильные комплексы; качество эксплуатации; комплексная оценка качества

Информация о статье: принята 26 февраля 2020 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-2-19-26

Применительно к механическому оборудованию карьеров (буровых станков, одноковшовых экскаваторов, карьерных самосвалов) данная методика была использована в работах [1-5]. Различия в вариантах методики в указанных работах состоят в специфических для каждой машины функциональном критерии и номенклатуре показателей качества. Интерпретации методики на экскаваторно-автомобильные комплексы до настоящего времени не произведено.

Оценка качества функционирования ЭАК существующих разрезов, входящих в состав АО «Угольная Компания «Кузбассразрезуголь» (КРУ), производится при следующих условиях. Основой исследования являются сводные отчёты о работе ЭАК шести разрезов и в целом по КРУ, включающие фактические данные, полученные на предприятии. Они представлены в табл. 1.

Комплексная оценка качества включает в себя следующие этапы [6]:

- выбор функционального критерия оценки качества;
- обоснование и определение показателей качества;
- оценка качества существующих ЭАК разрезов Кузбасса;
- анализ результатов оценки качества работы ЭАК и выбор перспективных направлений его повышения.

Функциональный критерий оценки качества ЭАК представляет собой соотношение интенсивностей подачи самосвалов под погрузку и обслуживания их экскаваторами, обоснован и определён в работе [5]. Результаты расчётов функционального критерия сведены в табл. 2.

Основными показателями, характеризующими качество функционирования ЭАК, являются: показатели производительности экскаваторного и автотранспортного парков ЭАК, P^e и P^s соответственно, м³/мин; эксплуатационная скорость самосвалов в составе ЭАК, v_e , км/ч;

Таблица 1 – Сводный отчёт о работе ЭАК разрезов и АО «УК «Кузбассразрезуголь»
 Table 1. Summary report on the operation of the STS at open-pit coal mines and АО “UK “Kuzbassrazrezugol”

Показатели	Разрезы						Кузбассразрезуголь
	Кедровский	Моховский	Бачагский	Краснобродский	Талдинский	Калтанский	
Численность экскаваторного парка, N_e , ед.	8	10	9	12	14	10	63
Численность автотранспортного парка, N_s , ед.	31	28	67	93	91	31	341
Количество выполненных рейсов, n_r	1064	1632	1833	3518	3372	1241	12660
Общие внутрисменные простои техники, t_{pr}^T , мин	4812	4874	7114	4209	6376	1741	29135
Простои самосвалов, t_{pr}^S , мин	2126	1022	5620	1947	2818	457	13991
Простои экскаваторов, t_{pr}^e , мин	2694	3852	1494	2262	3558	1471	15331
Время погрузки, t_p^e , мин	4004	6041	4528	9567	9750	4448	38337
Пробег самосвалов за сутки, L , км	3714	3361	10611	16182	13072	4722	51661
Время гружёного пробега, t_{gr} , мин	13505	11639	36687	55997	45022	16282	179131
Время разгрузки, t_{rasgr} , мин	874	1530	1690	2880	2761	1091	10826
Время порожнего пробега, t_{por} , мин	10013	9395	27965	42573	34307	12500	136752
Продолжительность рейса, t_r , в том числе:	29257	28960	73142	112348	95126	34908	373741
– простои в ожидании погрузки, $t_{pr}^{S\ osh}$, мин	861	355	2273	1331	3287	587	8695
Время рейса с учётом простоев техники, $(t_r + t_{pr}^T)$, мин	34076	33835	80256	116557	101502	36649	402876
Время работы техники в сутки, T_{sm} , ч	18,32	20,14	19,96	20,89	18,59	19,70	19,69
Количество рейсов, потерянных в ожидании погрузки, n_r^-	32	20	59	42	120	21	301

Примечание. В таблице приведены средневзвешенные по предприятиям значения соответствующих показателей.

доля простоев техники в продолжительности рабочей смены, k_{pr}^{Σ} ; соотношение простоев экскаваторов и самосвалов, k_{pr}^{e-s} ; уровень производительного использования экскаваторного и автотранспортного парков ЭАК, k_r^e и k_r^s соответственно. Там же приведены зависимости для их определения. Результаты расчётов показателей качества работы ЭАК сведены в табл. 3.

Далее согласно методике по данным табл. 2 и 3 осуществляется расчёт единичных q_{mn} и обобщённого k_m показателей качества функционирования ЭАК разрезов по соответствующим формулам методики. Результаты расчёта представлены в табл. 4. При этом в таблице разрезы

ранжированы по обобщённому показателю качества функционирования ЭАК разрезов.

Общий анализ обобщённого показателя уровня качества функционирования ЭАК разрезов КРУ (табл. 4) показывает, что у трёх из шести предприятий он выше значения 0,5, и у двух – приближается к этому значению. Это свидетельствует об общем достаточном качестве эксплуатации ЭАК на разрезах. Заметно отстаёт только один разрез – «Калтанский». Причина – низкий уровень производительности экскаваторного парка ($P^e = 29,2 \text{ м}^3/\text{мин}$; табл. 3). Это требует небольшого количества обслуживающих их самосвалов, в результате чего значение $k'_N = N_s/N_e$,

Таблица 2. Исходные данные и результаты расчёта функционального критерия оценки качества работы ЭАК разрезов

Table 2. Initial data and results of the functional criterion calculation for assessing the STS operation quality at open-pit coal mines

Показатели	Разрезы					
	Кедровский	Моховский	Бачатский	Красно-бродский	Талдинский	Калтанский
Исходные данные для расчёта						
N_s , ед.	31	28	67	93	91	31
N_e , ед.	8	10	9	12	14	10
$\frac{N_e}{t_p^e}$, мин ⁻¹	2,126	2,701	3,644	4,413	4,843	2,790
t_r , мин	27,497	17,746	39,903	31,934	28,211	28,128
$\Sigma_1^e t_{pr}^e$, мин	2694,0	3852,0	1494,0	2262,0	3558,0	1470,6
$\Sigma_1^s t_{pr}^s$, мин	2125,8	1022,4	5620,2	1947,0	2818,2	457,2
T_{sm} , мин	1099,2	1208,4	1197,9	1253,3	1115,4	1182,2
Результаты расчёта						
t_p^e , мин	3,763	3,702	2,470	2,719	2,891	3,584
k_{EAK}	0,888	0,894	0,922	0,968	0,946	0,964
λ	0,597	0,653	0,500	0,682	0,704	0,410

где N_e , N_s – количество экскаваторов и самосвалов в составе ЭАК соответственно, составляет всего 3,10, а оно прямо определяет функциональный критерий λ . И он у ЭАК разреза «Калтанский» имеет наименьшее значение ($\lambda = 0,410$).

Средний уровень качества работы ЭАК разрезов (уровень качества функционирования ЭАК в целом по КРУ) составляет $k^{KRU} = 0,614$. Поэтому дальнейший анализ будем производить в сравнении с этим значением. Сравнение обобщённого показателя качества работы ЭАК разрезов с общим по КРУ показывает, что у трёх разрезов («Краснобродский», «Талдинский» и «Бачатский») он выше среднего значения, и у трёх («Моховский», «Кедровский» и «Калтанский») – ниже. Причина высокого уровня качества у первых трёх разрезов и низкого у последних – та же, что и в предыдущем случае. Разрез «Краснобродский» является эталонным по четырём из семи единичных показателей качества (эксплуатационная скорость самосвалов ϑ_e , доля времени простоя в продолжительности смены k_{pr}^{Σ} , показатели производительного использования экскаваторного k_e^e и автотранспортного k_r^s парков), в результате чего он и занимает 1 место в ранжированном списке ($k = 0,879$). Разрез «Талдинский»

является первым по двум единичным показателям (показатели производительности экскаваторного P^e и автотранспортного P^s парков) и со значением $k = 0,737$ занимает 2 место. И завершает тройку лидеров разрез «Бачатский», который является лучшим по одному единичному показателю, отражающему соотношение простоев экскаваторов и самосвалов (k_{pr}^{e-s}). Разрез «Бачатский» мог бы иметь гораздо лучшие показатели, однако слишком большое расстояние транспортирования ($L_{tr} = 5,79$ км), а значит, времени рейса t_r и функционального критерия λ сводит на нет его преимущества по другим значимым показателям.

Для определения основных направлений повышения уровня качества функционирования ЭАК также воспользуемся данными табл. 4.

Анализ единичного показателя $q_1(P^e)$, характеризующего возможности экскаваторного парка ЭАК разреза в плане обеспечения погрузки требуемого объёма горной массы, показывает, что разрезы «Краснобродский», «Талдинский» и «Бачатский» имеют очень высокие значения этого показателя (для них средневзвешенное значение его составляет 0,927).

Таблица 3. Исходные расчётные показатели работы ЭАК разрезов
Table 3. Initial calculated indicators of the STS operation at open-pit coal mines

Показатели	Разрезы					
	Кедровский	Моховский	Бачатский	Красно-бродский	Талдинский	Калганский
Показатель производительности экскаваторного парка, P^e , м ³ /мин	40,32	21,14	64,19	45,24	50,18	29,20
Показатель производительности автотранспортного парка, P^s , м ³ /мин	4,518	4,022	3,574	3,515	4,142	3,996
Эксплуатационная скорость самосвалов, ϑ_e , км/ч	13,08	11,92	15,87	16,66	15,47	15,44
Доля простоев техники в продолжительности смены, k_{pr}^{Σ}	0,167	0,155	0,117	0,0476	0,0952	0,0636
Соотношение простоев экскаваторов и самосвалов, k_{pr}^{e-s}	0,902	2,796	0,189	0,690	0,583	1,409
Уровень производительного использования экскаваторного парка, k_r^e	1,486	1,569	3,031	4,229	2,740	3,024
Уровень производительного использования автотранспортного парка, k_r^s	9,508	20,77	8,980	33,86	15,04	32,88

Таблица 4. Единичные и обобщённые показатели качества работы ЭАК разрезов
Table 4. Individual and integrated indicators of the STS operation at open-pit coal mines

Показатели		Разрезы					
		Красно-бродский	Талдинский	Бачатский	Моховский	Кедровский	Калганский
Единичные показатели	$q_1(P^e)$	0,873	1,0	0,907	0,391	0,682	0,339
	$q_2(P^s)$	0,823	1,0	0,613	0,900	0,925	0,562
	$q_3(\vartheta_e)$	1,0	0,959	0,698	0,685	0,687	0,557
	$q_4(k_{pr}^{\Sigma})$	1,0	0,519	0,299	0,295	0,250	0,452
	$q_5(k_{pr}^{e-s})$	0,374	0,457	1,0	0,088	0,250	0,110
	$q_6(k_r^e)$	1,0	0,670	0,526	0,356	0,308	0,430
	$q_7(k_r^s)$	1,0	0,459	0,194	0,588	0,246	0,584
Обобщённые показатели	k_m	0,879	0,737	0,626	0,494	0,499	0,446

Общий уровень качества по этому показателю в целом по КРУ составляет 0,699, что на 28,0% ниже, чем в лидирующей группе. В группе отстающих по этому показателю находятся также три разреза: «Моховский», «Калганский» и в меньшей степени «Кедровский».

Средневзвешенное значение показателя для них составляет 0,471, что по сравнению с общим по КРУ ниже на 39,0%. Таким образом, группа разрезов-аутсайдеров оказывает в 1,4 раза большее влияние на величину этого показателя для КРУ в целом, чем разрезы-лидеры.

Вторым показателем, по которому имеется явная группа лидеров, является единичный показатель $q_2(P^S)$, отражающий возможности автотранспортных парков разрезов. Это разрезы «Краснобродский», «Талдинский», «Моховский» и «Кедровский». Общий уровень качества функционирования ЭАК по этому показателю составляет 0,912; для КРУ в целом – 0,804 (превышение – 12,6%). В группе аутсайдеров находятся разрезы «Бачатский» и «Калтанский». Для них общий уровень качества по этому показателю составляет 0,588, что на 31,0% ниже, чем в среднем по КРУ. Это один из двух единичных показателей, по которому даже в группе разрезов-аутсайдеров средний уровень качества выше 0,5. Это означает, что возможности автотранспортных парков всех разрезов достаточны для обеспечения своевременного вывоза требуемых объёмов горной массы. В то же время для разреза «Бачатский», например, хорошие возможности экскаваторного парка сочетаются с довольно низкими возможностями автотранспортного парка. Такое несоответствие возможностей парков техники на этом разрезе приводит к заметному снижению значения обобщённого показателя, в результате чего разрез находится лишь на 3 месте в ранжированном списке.

Анализ единичного показателя $q_3(\vartheta_e)$, отражающего эффективность влияния эксплуатационной скорости самосвалов на уровень качества работы ЭАК, свидетельствует о том, прежде всего, что лишь у двух разрезов («Краснобродский» и «Талдинский») из шести значения этого показателя существенно выше, чем у остальных. Общий уровень качества ЭАК по этому показателю для этих разрезов составляет 0,980, что на 24,8% выше, чем по КРУ в целом (0,764). У этого показателя, как и у предыдущего, уровень качества даже по отстающим разрезам составляет 0,659, что выше значения 0,5. Это подтверждает вывод, сделанный по предыдущему показателю: возможности автотранспортных парков всех разрезов велики, и если разрез по обобщённому показателю качества оказывается невысоко в ранжированном списке, то виной этому является слабые результаты его работы по другим показателям.

Значительно хуже обстоит дело с показателем $q_4(k_{pr}^{\Sigma})$, характеризующим влияние суммарных простоев погрузочно-транспортной техники на качество работы ЭАК. Лишь у двух разрезов («Краснобродский» и «Талдинский») показатель выше, чем 0,5 и чем в целом по КРУ (0,469), причём в целом по КРУ значение показателя ниже 0,5. Это свидетельствует о неблагоприятии на большинстве разрезов с простоями техники – они слишком велики. Средневзвешенное значение показателя в лидирующей группе составляет 0,760 (превышение по сравнению со средним по КРУ на 47,5%); в группе разрезов-аутсайдеров – всего 0,324, что ниже, чем по КРУ в целом, на 36,6%.

Аналогичная ситуация с показателем $q_5(k_{pr}^{e-s})$, характеризующим соотношение простоев экскаваторов и самосвалов и показывающим эффективность влияния его на качество функционирования ЭАК. Следует отметить, что влияние это является отрицательным. Простои дорогостоящих экскаваторов слишком велики по сравнению с простоями менее дорогих самосвалов. Как и в предыдущем случае, лишь у двух из шести разрезов («Бачатский» и «Талдинский») значение показателя выше, чем в среднем по КРУ, и лишь у разреза «Бачатский» – выше 0,5. Средневзвешенное значение показателя в лидирующей группе составляет 0,728, что на 62,8% выше, чем в целом по КРУ (0,380). В группе аутсайдеров значение показателя составляет 0,206, что ниже, чем в целом по КРУ, на 59,4%. И совсем плохо обстоит дело с этим показателем на разрезах «Калтанский» и особенно – «Моховский». Всё это, как и в предыдущем случае, свидетельствует о крайнем неблагоприятии с проблемой простоев экскаваторных парков ЭАК разрезов.

Из анализа единичного показателя $q_6(k_r^e)$, отражающего эффективность соотношения производительного (работа) и непроизводительного (простой) использования экскаваторной техники, видно преобладание двух разрезов-лидеров («Краснобродский» и «Талдинский») над остальной группой разрезов. Средневзвешенное значение показателя у лидеров составляет 0,835, что на 41,5% выше, чем в целом по КРУ (0,548). У разрезов-аутсайдеров этот показатель составляет 0,405, что ниже граничного значения 0,5; на 30,0% ниже, чем в целом по КРУ, и более чем в 2 раза – чем у разрезов-лидеров. Низкие значения показателя у большинства разрезов свидетельствуют о больших простоях экскаваторных парков и необходимости их существенного сокращения.

Несколько лучше обстоит дело с показателем $q_7(k_r^s)$, характеризующим рациональность соотношения рабочего времени и простоев автотранспортных парков разрезов. У трёх разрезов («Краснобродский», «Моховский» и «Калтанский») значение показателя выше, чем в целом по КРУ. Средневзвешенное значение показателя для лидирующей группы составляет 0,724, что на 34,3% выше, чем в целом по КРУ. Для трёх разрезов-аутсайдеров средневзвешенное значение показателя составляет 0,300, что на 52,2% ниже, чем по КРУ в целом. Особенно плохо обстоит дело с этим показателем у разрезов «Бачатский» и «Кедровский». Автотранспортные парки ЭАК этих разрезов простаивают слишком много.

Анализ единичных показателей качества функционирования ЭАК в целом по КРУ свидетельствует о неблагоприятии с двумя показателями: $q_4(k_{pr}^{\Sigma})$ и $q_5(k_{pr}^{e-s})$, по которым средние по КРУ значения ниже 0,5. Эти показатели отражают долю простоев погрузочно-транспортной техники в продолжительности рабочей смены (она слишком велика), и соотношение простоев

экскаваторов и самосвалов (простои экскаваторов, как высокопроизводительных и дорогостоящих машин, тоже слишком велики). Отсюда следует, что основные усилия нужно направить на сокращение простоев вообще, и простоев экскаваторов – особенно.

Оценка общего состояния качества функционирования ЭАК на разрезах по всем показателям и каждому их показателей может быть также проиллюстрирована по табл. 4. Более или менее благополучно обстоит дело с качеством функционирования ЭАК на разрезах «Краснобродский», «Талдинский» и в меньшей степени – «Бачатский», у которых средневзвешенные значения уровня качества по единичным показателям выше значения 0,5. Средневзвешенное значение показателей качества у этих разрезов составляет 0,732. То же значение для разрезов-аутсайдеров составляет 0,461, что на 45,4% ниже, чем у лидеров.

Общий анализ результатов расчёта единичных показателей показывает, что преобладающее влияние на их величину оказывает функциональный критерий, который, в свою очередь, как следует из зависимостей, приведённых в работе [5], во многом определяется соотношением численности автотранспортного и экскаваторного парков в составе ЭАК разреза. Чем выше это соотношение, тем большую величину имеет функциональный критерий и тем выше значение соответствующего единичного показателя. Действительно, из табл. 2 и 4 видно, что ранжирование разрезов по функциональному критерию во многом соответствует ранжированию по обобщённому показателю. Это означает, в конечном счёте, что более качественно работают ЭАК тех разрезов, на которых для обслуживания имеющихся экскаваторов выделяется больше самосвалов. Однако каким конкретно должно быть это соотношение $k'_N = N_s/N_e$, чтобы обобщённый показатель уровня качества функционирования ЭАК был наивысшим, неизвестно, и установить его здесь не представляется возможным, несмотря на то, что проблеме определения рациональной структуры ЭАК посвящено большое количество работ, например [5, 7–15]. Оно, очевидно, может быть определено в результате оптимизации показателей качества функционирования ЭАК.

Из общего ряда разрезов-лидеров выбивается разрез «Бачатский», занимающий 3 место в ранжированном списке. Для него все показатели качества работы ЭАК имеют достаточно высокие значения, и лишь один показатель – расстояние транспортирования L_{tr} , а значит, и время рейса самосвалов t_r – сильно завышено, и это приводит к резкому снижению функционального критерия со всеми вытекающими отсюда отрицательными последствиями. В столбце для разреза «Бачатский» табл. 4 видно, что высокие значения одних единичных показателей соседствуют с крайне низкими значениями других, зависящих от времени рейса самосвалов, то есть налицо их несбалансированность. То же, но в меньшей степени,

можно сказать и о разрезах «Калтанский», «Моховский» и даже «Краснобродский»,

Необходимость обеспечения оптимальной сбалансированности показателей качества функционирования ЭАК подтверждается тем, что показатели разрезов, имеющих более высокий функциональный критерий, как показал анализ, более сбалансированы. Например, разброс значений единичных показателей качества функционирования ЭАК разреза «Талдинский», обладающего наибольшим функциональным критерием ($\lambda = 0,704$), составляет $\pm 32,2\%$, а разреза «Бачатский», занимающего 5 место в ранжированном списке по функциональному критерию, – $\pm 53,7\%$. Это означает, что оптимальная сбалансированность основных показателей, характеризующих работу ЭАК, также повышает уровень качества их функционирования. Таким образом, налицо ещё одно подтверждение необходимости комплексного (системного) подхода к вопросам проектирования новых ЭАК для ОГР.

Таким образом, анализ уровня качества функционирования ЭАК разрезов позволяет сделать вывод о том, что его повышение может быть достигнуто за счёт разработки научно обоснованных методов оптимального проектирования ЭАК, которые позволяют определить и оптимально сбалансировать основные характеризующие их показатели. Решение этих вопросов может служить мощным средством повышения качества функционирования вновь создаваемых экскаваторно-автомобильных комплексов для предприятий открытой угледобычи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов, Ю.Е. Оптимальное проектирование карьерных горных машин. – М.: Инновационное машиностроение, 2015. – 351 с.
2. Зыков, П.А. Повышение технического уровня карьерных одноковшовых гидравлических экскаваторов на стадии проектирования: дис. ... канд. техн. наук. – КузГТУ, Кемерово, 2013.
3. Буянкин, А.В. Комплексная оценка и прогнозирование показателей качества эксплуатации карьерных автосамосвалов: дис. ... канд. техн. наук. – КузГТУ, Кемерово, 2004.
4. Басманов, С.В. Оптимизация параметров карьерных автосамосвалов для повышения их технического уровня: дис. ... канд. техн. наук. – КузГТУ, Кемерово, 2012.
5. Voronov, Y. Functional quality criterion of rock handling mechanization at open-pit mines / Y. Voronov, A. 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, Vol. 21.
6. Солод, Г.И. Основы квалиметрии. – М.: Изд-во Московского горн. ин-та, 1991. – 84 с.
7. Krause, A. Modelling open pit shovel-truck systems using the machine repair model / A. Krause,

C. Musingwini // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – Aug 2007. – Vol. 107. – P. 469-476.

8. Ercelebi, S. Optimization of shovel-truck system for surface mining / S. Ercelebi, A. Bascetin // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – Jul 2009. – Vol. 109. – P. 433-439.

9. May, M. A. Applications of queuing theory for open-pit truck-shovel haulage systems : MSc thesis. – Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 2012.

10. Burt, C. Equipment selection for surface mining: a review / C. Burt, L. Caccetta // Interfaces. – 2014. – Vol. 44, №2. – P. 143-162.

11. 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.

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

13. Vemba, M.M. Loading and transport system at SMC-Optimization // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – Apr 2004. – P. 139-147.

14. Krzyzanowska, J. The impact of mixed fleet hauling on-mining operations at Venetia mine // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – Apr 2007. – Vol. 107. – P. 215-224.

15. Mkhathshwa, S.V. Optimization of the loading and hauling fleet at Mamatwan open pit mine // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – Apr 2009. – Vol. 109. – P. 223-232.

Anton Yu. Voronov¹, **Alexey A. Khoreshok**², Dr. Sc. in Engineering, Professor, **Yuri E. Voronov**², Dr. Sc. in Engineering, Professor, **Alexey V. Bujankin**², C. Sc. in Engineering, **Artyom Yu. Voronov**², C. Sc. in Engineering

¹AO “UK “Kuzbassrazrezugol”, 4a, avenue Pionersky, Kemerovo, 650054, Russia

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

ASSESSMENT OF THE OPERATION QUALITY OF SHOVEL-TRUCK SYSTEMS AT OPEN-PIT COAL MINES IN KUZBASS

Abstract: *The urgency of the discussed issue. An integrated assessment of the operation quality of shovel-truck systems (STSs) is based on the well-known method of non-expertise quality assessment for mining machines, known as G.I. Solod's technique. Based on the fundamental principles of qualimetry, the technique allows you to evaluate functionally homogeneous machines of different sizes, types and designs based on the functional criterion of the machine that determines its main purpose. The technique is widely used to assess the quality of open pit mining machines. In this paper, the quality of not a single machine, but a complex of machines, taking into account their interaction, is assessed. Assessing the STS operation quality allows you to create a basis for a science-based selection of priority areas for its improvement and development of science-based methods for optimizing its operation.*

The main aim of the study. *An integrated assessment of the STS operation quality at open-pit coal mines in Kuzbass for its improvement and optimization of the main performance indicators.*

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

The results. *An integrated quality assessment provides the ability to predict the quality level and the science-based choice of priority areas for improving the operation of existing or planned STSs.*

Keywords: *open-pit mining; shovel-truck systems; operation quality; integrated quality assessment.*

Article info: *received February 26, 2020*

DOI: *10.26730/1816-4528-2020-2-19-26*

REFERENCES

1. Voronov, Y.E. Optimalnoe proektirovanie gornyh kariernyh mashin [Optimal design of open-

pit mining machines]. Moscow: Innovative Engineering, 2015. 351 p. (rus)

2. Zykov, P.A. Povyshenie tehničeskogo urovnja kariernyh odnokovshovyh gidravličeskikh ekskavatorov na stadii proektirovanija [Increasing the technical level of open-pit hydraulic shovels at the design stage]. PhD thesis. Kemerovo: KuzSTU, 2013. (rus)

3. Bujankin, A.V. Kompleksnaja otsenka i prognozirovanie pokazatelej kachestva ekspluatatsii kariernyh avtosamosvalov [Integrated assessment and prediction of indicators of mining truck operation quality]. PhD thesis. Kemerovo: KuzSTU, 2004. (rus)

4. Basmanov, S.V. Optimizatsija parametrov kariernyh avtosamosvalov dlja povyshenija ih tehničeskogo urovnja [Optimization of parameters of mining trucks for increasing its technical level]. PhD thesis. Kemerovo: KuzSTU, 2012. (rus)

5. Voronov, Y. Functional quality criterion of rock handling mechanization at open-pit mines / Y. Voronov, A. 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.

6. Solod, G.I. Osnovy kvalimetrii [The basics of qualimetry]. Moscow: Moscow Mining Institute, 1991. 84 p. (rus)

7. Krause, A. Modelling open pit shovel-truck systems using the machine repair model / A. Krause, C. Musingwini // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – Aug 2007. – Vol. 107. – P. 469-476.

8. Ercelebi, S. Optimization of shovel-truck system for surface mining / S. Ercelebi, A. Bascetin // The Journal of The Southern African Institute of

Mining and Metallurgy. – Jul 2009. – Vol. 109. – P. 433-439.

9. May, M.A. Applications of queuing theory for open-pit truck-shovel haulage systems : MSc thesis. – Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 2012.

10. Burt, C. Equipment selection for surface mining: a review / C. Burt, L. Caccetta // Interfaces. – 2014. – Vol. 44, №2. – P. 143-162.

11. 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.

12. Voronov, A.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)

13. Vemba, M.M. Loading and transport system at SMC-Optimization // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – Apr 2004. – P. 139-147.

14. Krzyzanowska, J. The impact of mixed fleet hauling on-mining operations at Venetia mine // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – Apr 2007. – Vol. 107. – P. 215-224.

15. Mkhathswa, S.V. Optimization of the loading and hauling fleet at Mamatwan open pit mine // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – Apr 2009. – Vol. 109. – P. 223-232.

Библиографическое описание статьи

Воронов А.Ю., Хорешок А.А., Воронов Ю.Е., Буйанкин А.В., Воронов А.Ю. Оценка качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов Кузбасса // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 2 (148). – С. 19-26.

Reference to article

Voronov A.Yu., Khoreshok A.A., Voronov Yu.E., Bujankin A.V., Voronov A.Yu. Assessment of the operation quality of shovel-truck systems at open-pit coal mines in Kuzbass. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.2 (148), pp. 19-26.