

УДК 622.23.05

**Воронов Антон Юрьевич**<sup>1</sup>, **Хорешок Алексей Алексеевич**<sup>2</sup>, доктор техн. наук, профессор,  
**Воронов Юрий Евгеньевич**<sup>2</sup>, доктор техн. наук, профессор, **Жданов Вячеслав Леонидович**<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@kru.ru

## **ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

---

***Аннотация:** Погрузочно-транспортные работы на карьерах выполняются преимущественно мощными экскаваторно-автомобильными комплексами (ЭАК). Одной из основных проблем ЭАК является достаточно низкий уровень качества их функционирования, объективная оценка которого представляет собой важный этап в определении причин низкого качества и эффективных направлений его повышения. Цель оценки качества функционирования ЭАК определена в виде функционального критерия. Следующим важным этапом оценки является выбор номенклатуры показателей, в наибольшей степени характеризующих качество функционирования ЭАК.*

***Цель работы.** Обоснование номенклатуры показателей качества функционирования ЭАК для дальнейшей оценки качества и разработки методики оптимизации показателей ЭАК.*

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

***Результаты.** Качество функционирования ЭАК можно оценить по семи показателям, которые подразделяются на четыре группы: показатели состава, структуры и соответствия парков погрузочно-транспортной техники; показатели производительности (потенциальной или фактической) парков; показатели величины и структуры простоев; показатели производительного использования парков в течение смены. Оценка качества функционирования ЭАК по данным показателям позволяет выявить основные направления повышения их эксплуатационной производительности.*

***Ключевые слова:** открытые горные работы; экскаваторно-автомобильный комплекс; качество работы; функциональный критерий; номенклатура показателей качества.*

***Информация о статье:** принята 01 октября 2019 г.*

*DOI: 10.26730/1816-4528-2019-4-3-9*

Номенклатура показателей, в наибольшей степени характеризующих качество функционирования экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК), устанавливается прежде всего в зависимости от выбранного критерия. Для оценки качества функционирования ЭАК нами выбран функциональный критерий [1]:

$$\lambda = \frac{N_s}{\frac{N_e}{t_p^e} \cdot t_r \cdot k_{\text{ЭАК}}}, \quad (1)$$

который, хотя и является менее общим по сравнению с экономическими критериями, однако позволяет достаточно объективно оценить эффективность ЭАК.

В зависимости (1):  $N_e$ ,  $N_s$  – количество экскаваторов и самосвалов в составе ЭАК;  $t_p^e$  – время полной загрузки самосвала экскаватором, мин;  $t_r$  – продолжительность рейса самосвала, мин;  $k_{\text{ЭАК}}$  – коэффициент эксплуатационной производительности ЭАК.

Мировая практика показывает, что в последние годы средняя производительность карьерного горного оборудования имеет стойкую тенденцию к снижению, главным образом, за счет роста простоев в процессе работы (например, производительность карьерных самосвалов в 2006-2010 гг. снизилась на 41%, даже несмотря на новые технологические достижения [2, 3]).

Производительность ЭАК во многом определяется временем загрузки карьерных самосвалов и характеристиками их движения. Кроме того, количество и структура карьерных экскаваторов и самосвалов – два важнейших фактора в определении рациональных параметров открытых горных работ (ОГР) и качества функционирования ЭАК. Учитывать нужно также разномарочность парков экскаваторов и самосвалов, несвоевременность поступления самосвалов к экскаваторам под погрузку, вызванную стохастичностью процесса и нерациональной

стратегией диспетчеризации автотранспорта. В конечном счете это приводит к простоям техники.

При выборе показателей необходимо иметь в виду следующие принципы [4, 5]:

- показатели, которые использовались при определении функционального критерия, не могут использоваться повторно в качестве единичных показателей;

- выбранные показатели должны быть представительными, что обеспечит достоверность полученных результатов. Представительный критерий (параметр, показатель), как гласит одно из положений системотехники, характеризует выполнение простого и четкого правила: большому значению критерия однозначно соответствует лучшая (худшая) система;

- в номенклатуру не должны входить показатели, которые согласованы, то есть прямо определяют друг друга, поскольку согласованные параметры несут одинаковую информацию;

- для показателей, с уменьшением значений которых качество ухудшается, в качестве единичных показателей должны быть взяты их обратные величины.

Одним из важнейших показателей, характеризующих состав парков погрузочно-транспортной техники, является соотношение количества самосвалов и экскаваторов в составе ЭАК (коэффициент состава ЭАК):

$$k'_N = \frac{N_s}{N_e}$$

Этот показатель отражает количество самосвалов, обслуживающих каждый экскаватор. Если самосвалов недостаточно, простаивают экскаваторы в ожидании работы; если самосвалов излишек – простаивают в свою очередь они. Однако показатель  $k'_N$  прямо входит в функциональный критерий (1), поэтому вторично (в виде единичного показателя качества) использоваться не может.

Также прямо в формулу функционального критерия (1) входит время загрузки самосвала экскаватором  $t_p^e$ , коэффициент эксплуатационной производительности  $k_{EAK}$  и продолжительность рейса (рабочего цикла) самосвала  $t_r$ , которые в чистом виде в число единичных показателей качества функционирования ЭАК входить тоже не могут, а вот их отдельные составляющие могут стать предметом дальнейшего анализа.

Прежде всего необходимо проанализировать рабочий цикл карьерного самосвала при различных сочетаниях типоразмеров машин в составе ЭАК.

Время цикла самосвала может быть определено как сумма продолжительностей всех технологических операций, составляющих цикл: погрузки ( $t_{pij}^e$ ), транспортирования горной массы до места загрузки ( $t_{gri}$ ), разгрузки ( $t_{razgri}$ ), движение порожнего самосвала к пункту следующей погрузки ( $t_{pori}$ ), простой самосвала в ожидании погрузки ( $t_{prij}^s$ ), а также время установки под погрузку ( $t_{u,p}$ ) и разгрузку ( $t_{u,r}$ ). При этом время разгрузки самосвала, а также время установки его под погрузку-разгрузку нормируются, например, «Инструкцией

по учету рабочего времени технологического автотранспорта», действующей в АО УК «Кузбассразрезуголь».

Таким образом, наиболее значимыми составляющими времени цикла самосвала остаются  $t_{pij}^e$ ,  $t_{gri}$ ,  $t_{pori}$  и  $t_{prij}^s$ .

Время, затрачиваемое  $j$ -м экскаватором на полную загрузку кузова  $i$ -го самосвала  $t_{pij}^e$ , можно определить как произведение продолжительности одного рабочего цикла  $j$ -го экскаватора  $t_{cj}^e$  на число ковшей  $j$ -го экскаватора, загружаемых в  $i$ -й самосвал для его полной загрузки,  $n_{kij}$ .

Время погрузки в абсолютном виде  $t_p^e$  входит в функциональный критерий и, как уже указывалось выше, в качестве единичного показателя использовано быть не может. А вот составляющие эту величину время цикла экскаватора  $t_c^e$  и число загружаемых ковшей  $n_k$  должны стать предметом дальнейшего анализа.

Время цикла для данного экскаватора является фиксированной величиной, а вот в виде показателя производительности  $E_k^e/t_c^e$  может служить характеристикой экскаваторного парка ЭАК. Таким образом, в качестве первого показателя, характеризующего качество функционирования ЭАК, может быть выбран *показатель производительности экскаваторного парка ЭАК*:

$$P^e = \frac{\bar{E}_k^e}{\bar{t}_c^e}, \quad (2)$$

где  $\bar{E}_k^e$  – средневзвешенное по экскаваторному парку значение вместимости ковша экскаватора, м<sup>3</sup>;  $\bar{t}_c^e$  – средневзвешенное по экскаваторному парку значение продолжительности цикла экскаватора, мин.

Использование здесь и в дальнейшем средневзвешенных величин обусловлено тем, что парки экскаваторов и самосвалов на всех разрезах УК «Кузбассразрезуголь» являются разномарочными (смешанными), а оценивать разрезы надо в целом.

Аналогичным показателем, характеризующим парк самосвалов разреза, является *показатель производительности автотранспортного парка  $P^s$* , который может быть принят в качестве второго показателя, характеризующего качество функционирования ЭАК.

$$P^s = \frac{\bar{E}_k^s}{\bar{t}_r}, \quad (3)$$

где  $\bar{E}_k^s$  – средневзвешенная по разрезу вместимость кузова самосвала, м<sup>3</sup>;  $\bar{t}_r$  – средневзвешенная по разрезу продолжительность рейса самосвала, мин.

Взвешивание параметров, входящих в зависимости (2) – (3), производим по количеству рейсов, совершенных самосвалами определенных типов от соответствующих экскаваторов. Имеем:

$$\begin{aligned} \bar{E}_k^e &= \frac{\sum_1^{n_j} E_{kj}^e \cdot n_{rj}}{\sum_1^{n_j} n_{rj}}; \quad \bar{t}_c^e \\ &= \frac{\sum_1^{n_j} t_{c_j}^e \cdot n_{rj}}{\sum_1^{n_j} n_{rj}} - \end{aligned} \quad (4)$$

для экскаваторного парка, и

$$\bar{E}_k^s = \frac{\sum_1^{n_i} E_{ki}^s \cdot n_{ri}}{\sum_1^{n_i} n_{ri}}; \quad \bar{t}_p^e = \frac{\sum_1^{n_j} t_r \cdot n_{rj}}{\sum_1^{n_j} n_{rj}} - \quad (5)$$

для автотранспортного парка ЭАК.

В формулах (4) и (5):  $E_{kj}^e$  – емкость ковша экскаватора  $j$ -го типоразмера, м<sup>3</sup>;  $t_{c_j}^e$  – продолжительность цикла экскаватора  $j$ -го типоразмера, мин;  $n_{rj}$  – количество рейсов, совершенных самосвалами от экскаватора  $j$ -го типоразмера;  $n_j$  – количество типоразмеров экскаваторов в составе ЭАК;  $E_{ki}^s$  – вместимость кузова самосвала  $i$ -го типоразмера, м<sup>3</sup>;  $t_r$  – продолжительность рейса самосвала от экскаватора  $j$ -го типоразмера, мин;  $n_{ri}$  – количество рейсов, совершенных самосвалами  $i$ -го типоразмера.

Показателем, характеризующим соответствие экскаваторов и самосвалов друг другу, может служить число ковшей экскаватора, загружаемых в кузов самосвала для его полной загрузки,  $n_k$ .

Средневзвешенное число ковшей, загружаемых средневзвешенным экскаватором в средневзвешенный самосвал, определится как:

$$n_k = \frac{\bar{E}_k^s}{\bar{E}_k^e}. \quad (6)$$

Число ковшей в виде (6) не может служить показателем качества функционирования ЭАК, поскольку имеет ограничения по величине. Общеизвестно, что рациональное число загружаемых в кузов самосвала ковшей при оптимальных для автотранспорта расстояниях транспортирования до 5 км составляет 3-5. Однако если расстояния транспортирования превышают 5 км, рациональное число ковшей может быть и больше 5, а вот нижняя граница в 3 ковша говорит о том, что полная загрузка кузова лишь 1-2 ковшами приводит к сильным динамическим (ударным) нагрузкам на ходовую часть самосвала, что опасно из-за возможного нарушения работоспособности (поломки) самосвала и выхода его из строя.

При наличии подобных ограничений в качестве единичного показателя рекомендуется [6] принимать не абсолютное значение параметра (6), а разность между ним и значением, ограничивающим изменение параметра. Исходя из этого, в качестве третьего показателя принимаем:

$$n'_k = n_k - 3. \quad (7)$$

Важнейшим эксплуатационным показателем работы автотранспорта, определяющим характер движения по отдельным участкам пути в груженом ( $t_{gr_i}$ ) и порожнем ( $t_{por_i}$ ) направлениях и время полного оборота самосвала, является скорость движения. Используется или техническая скорость карьерного самосвала  $\vartheta$ , зависящая от конструктивных качеств автомобиля, условий эксплуатации, степени изношенности самосвалов и квалификации

водителей, или эксплуатационная скорость, которая дополнительно учитывает простои самосвалов в течение смены. Она определяется как общий пробег каждого самосвала за смену, отнесенный к ее продолжительности  $T_{sm}$  (ч):

$$\vartheta_e = \frac{2L_{tr} \cdot n_r}{N_s \cdot T_{sm}},$$

где  $L_{tr}$  – средневзвешенное расстояние транспортирования горной массы средневзвешенным самосвалом, км;  $n_r$  – количество рейсов, выполненных всеми самосвалами в течение рабочей смены.

Таким образом, в качестве четвертого показателя качества рассматриваем эксплуатационную скорость, средневзвешенную для всего парка самосвалов ЭАК данного разреза,  $\vartheta_e$ .

Поскольку простои экскаваторов и самосвалов согласно функциональному критерию (1) через коэффициент эксплуатационной производительности ЭАК  $k_{EAK}$  оказывают существенное влияние на уровень качества функционирования карьерных ЭАК, то все показатели, так или иначе связанные с простоями техники по разным причинам, должны учитываться в показателях качества работы ЭАК.

Простои техники в ЭАК делятся на плановые и неплановые. Плановые простои – это простои, продолжительность которых регламентирована нормативными документами для конкретных условий эксплуатации горного оборудования в составе ЭАК. Они пересматриваются только при изменении горнотехнических условий. Неплановые простои – это простои уже принятых в эксплуатацию машин на конкретную смену, но по не зависящим от машиниста экскаватора (водителя самосвала) причинам не могут участвовать в работе и, следовательно, выполнять сменное задание. Это те простои, которых можно избежать, и возникают они исключительно по причине неудовлетворительного состояния парков экскаваторов и самосвалов и организации их работы. По данным, приведенным в работе [7], простои в ожидании погрузки составляют 30-50% от всех простоев карьерных самосвалов в течение смены. Если же учитывать и простои, связанные с поломками и ремонтом экскаваторов и самосвалов, то общие простои возрастают почти вдвое.

Ввиду существенности простоев погрузочно-транспортной техники на разрезах Кузбасса важным показателем качества работы ЭАК является доля суммарных простоев экскаваторов  $\sum_1^{N_e} t_{pr}^e$  и самосвалов (включая простои в ожидании)  $\sum_1^{N_s} (t_{pr}^s + t_{pr}^{s\ ozh})$  в суммарной продолжительности всех рейсов рабочей смены в расчете на один самосвал (фактической продолжительности смены с учетом всех перерывов в работе  $T_{sm}$ ):

$$k_{pr}^{\Sigma} = \frac{\sum_1^{N_e} t_{pr}^e + \sum_1^{N_s} (t_{pr}^s + t_{pr}^{s\ ozh})}{T_{sm}}.$$

Доля простоев техники в течение рабочей смены  $k_{pr}^{\Sigma}$  будет пятым показателем качества функционирования ЭАК.

Не менее важным является соотношение простоев экскаваторов и самосвалов. Обычно на предприятиях стремятся максимально уменьшить

простой экскаваторов в ожидании работы даже за счет введения в число работающих самосвалов дополнительных (лишних) машин, что увеличивает простой самосвалов в ожидании погрузки. Связано это с существенно более высокой стоимостью простоев более дорогих экскаваторов по сравнению с простоями самосвалов. В работе [7] приводятся данные по стоимости 1 часа простоев экскаваторов Р&Н-2800 (136,7 тыс. руб.), ЭКГ-15 (70,8 тыс. руб.), ЭКГ-12ус (53,3 тыс. руб.) и самосвалов БелАЗ-75306 (17,5 тыс. руб.) на разрезе «Кедровский». То есть стоимость простоев экскаваторов средней мощности в 3-4 раза выше, чем стоимость простоев самосвалов БелАЗ, а мощных зарубежных экскаваторов – в 8-10 раз.

Однако, несмотря на сокращение простоев экскаваторов в ожидании работы, простои их по другим причинам все равно остаются большими. Учитывая важность этого вопроса, введем в номенклатуру показателей качества функционирования ЭАК еще один (шестой) показатель, отражающий *соотношение простоев экскаваторного и автотранспортного парков*:

$$k_{pr}^{e-s} = \frac{\sum_1^{N_e} t_{pr}^e}{\sum_1^{N_s} (t_{pr}^s + t_{pr}^{s,ozh})}$$

Простои характеризуют непроизводительное использование техники и должны быть сведены к минимуму. Ознакомление с опытом работы карьеров, отраженном в периодической научной литературе последних лет, выявило отсутствие заметных достижений в области организации производства, направленной на сокращение простоев оборудования. Ведущие специалисты в этой области отмечают, что на отечественных карьерах до сих пор используются те же методы организации ОГР, что и 50-60 лет назад. В результате уровень использования экскаваторов (в том числе и высокопроизводительных импортных) на большинстве карьеров не претерпел изменений и остается в пределах 50-60% календарного времени. Утверждается, что в данном вопросе практика значительно отстает от теории организации производства и управления [7-9].

На разрезах Кузбасса традиционно используется способ организации погрузочно-транспортного процесса по «закрытому циклу», когда каждый самосвал в начале смены закрепляется за конкретным экскаватором и разгрузочным пунктом, и работает на одном и том же маршруте в течение всей смены. Самосвалы перераспределяются только в случае изменения условий работы (например, при поломке экскаватора). Оптимизация в данном случае заключается в определении оптимального количества автотранспорта на данный экскаватор [10-12]. Эффективной такая система может быть только тогда, когда экскаваторы работают непрерывно, а самосвалы подаются под погрузку равномерно. Однако техника не может работать по жесткому алгоритму. В ее работу часто вмешиваются непрогнозируемые и субъективные факторы: плохое дробление породы при буровзрывных работах, несоответствие экскаваторов и самосвалов друг другу, разное качество различных участков автодорог, невозможность обгона

тихоходных самосвалов более быстроходными, различная степень изношенности машин и квалификация водителей, непрогнозируемые поломки и др. [13-15].

В соответствии с вышесказанным в номенклатуру необходимо включить еще два показателя, отражающих *соотношение времени работы и простоев экскаваторного и автотранспортного парков в течение рабочей смены*:

$$k_r^e = \frac{t_p^e}{t_{pr}^e}; \quad (8)$$

$$k_r^s = \frac{t_r - t_{pr}^{s,ozh}}{t_{pr}^s + t_{pr}^{s,ozh}}, \quad (9)$$

где  $t_p^e$  – время загрузки самосвала экскаватором (работа экскаватора), мин;  $t_{pr}^e$  – время простоя экскаваторов, мин;  $t_{pr}^s$  – время простоя самосвалов без учета простоя в ожидании погрузки  $t_{pr}^{s,ozh}$ , мин;  $t_r$  – продолжительность рейсов самосвалов с учетом простоя в ожидании погрузки  $t_{pr}^{s,ozh}$ , мин. Все временные характеристики в формулах (8) и (9) принимаются в расчете на 1 рейс.

Коэффициенты  $k_r^e$  и  $k_r^s$  являются, таким образом, седьмым и восьмым показателями качества функционирования ЭАК.

Все рассмотренные показатели делятся на четыре группы:

- показатели состава, структуры и соответствия парков погрузочно-транспортной техники ( $k'_N, n'_k$ );
- показатели производительности парков ( $P^e, P^s$  – потенциальной,  $\vartheta_e$  – фактической);
- показатели величины и структуры простоев ( $k_{pr}^e$  и  $k_{pr}^{e-s}$ );
- показатели производительного использования парков в течение смены ( $k_r^e$  и  $k_r^s$ ).

Из квалиметрии известно, что важнейшим требованием к единичным показателям качества является их независимость [4, 5]. Проверка выбранных показателей на взаимозависимость показала, что зависимыми друг от друга являются только два показателя – показатель производительности экскаваторного парка  $P^e$  (2) и показатель соответствия парков  $n'_k$  (7). Связь между ними может быть объяснена тем, что все входящие в формулы величины являются фиксированными по величине параметрами экскаваторов и самосвалов, внесенными в их техническую характеристику, и от эксплуатационных факторов не зависят. Зависимость между  $n'_k$  и  $P^e$  может быть получена в результате статистической обработки соответствующих данных по разрезам. Из двух взаимозависимых показателей  $n'_k$  и  $P^e$  для оценки качества функционирования ЭАК достаточно выбрать один. Оставляем показатель  $P^e$ .

Таким образом, из восьми показателей, выбранных для оценки качества функционирования ЭАК, после проверки на согласованность (взаимозависимость) остается семь, а именно:

- показатель производительности экскаваторного парка ЭАК,  $P^e$ , м<sup>3</sup>/мин. Поскольку качество улучшается с увеличением показателя, то в соответствии с принципами квалиметрии [5] *первым*

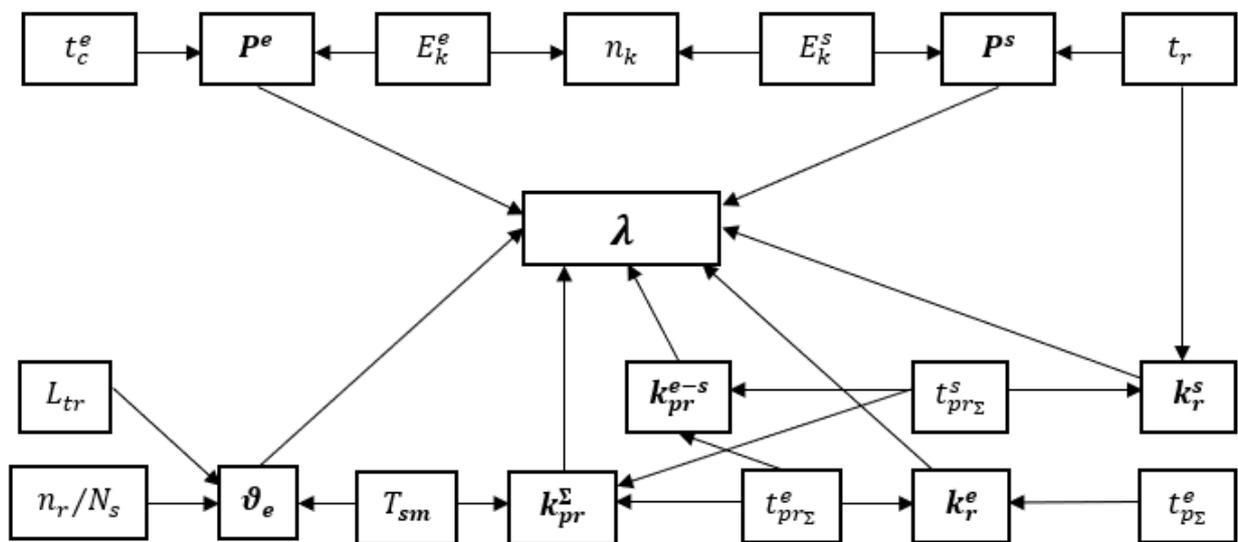


Рис. 1. Комплекс показателей качества функционирования карьерных ЭАК  
 Fig. 1. The system of operation quality indicators for open-pit STSs

единичным показателем должна быть обратная величина –  $1/P^e$ ;

– показатель производительности автотранспортного парка ЭАК,  $P^s$ , м<sup>3</sup>/мин. Принимаем в качестве *второго* единичного показателя обратную величину –  $1/P^s$  – по той же причине;

– эксплуатационная скорость самосвалов в составе ЭАК,  $\vartheta_e$ , км/ч. В качестве *третьего* единичного показателя – обратная величина  $1/\vartheta_e$ ;

– доля простоев техники в продолжительности рабочей смены,  $k_{pr}^{\Sigma}$ . Поскольку качество улучшается с уменьшением показателя, за *четвертый* единичный показатель должна быть принята абсолютная величина –  $k_{pr}^{\Sigma}$ ;

– соотношение простоев экскаваторов и самосвалов,  $k_{pr}^{e-s}$ . По той же причине в качестве *пятого* единичного показателя принимается абсолютная величина –  $k_{pr}^{e-s}$ ;

– уровень производительного использования экскаваторного парка ЭАК,  $k_r^e$ . Поскольку качество улучшается с увеличением показателя, за *шестой* единичный показатель должна быть принята обратная величина –  $1/k_r^e$ ;

– уровень производительного использования автотранспортного парка ЭАК,  $k_r^s$ . По аналогии с предыдущим в качестве *седьмого* единичного показателя принимаем обратную величину –  $1/k_r^s$ .

Таким образом, комплекс показателей, определяющих качество функционирования карьерных ЭАК, состоит из *семи* показателей, схема которых приведена на рис. 1.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Voronov, Y. Functional quality criterion of rock handling mechanization at open-pit mines / Y. Voronov, A. Voronov // The 11th International Innovative Mining Symposium (De-voted to Russian Federation Year of Environment), Kemerovo, Russian Federation, November 20-22, 2017. – E3S Web of Conferences, Volume 21.

2. Carter, R.A. Fleet management: challenges and choices // Engineering & Mining Journal. – Mar 2012. – № 213(3). – P. 28-32.

3. Lumley, G. Trends in performance of open cut mining equipment // GBI Mining Intelligence white paper. – 2012. – 36 p.

4. Солод, Г.И. Основы квалиметрии. – М.: МГИ, 1991. – 84 с.

5. Солод, Г.И. Проблемы оценки и повышения уровня качества горной техники // Известия вузов. Горный журнал. – 1985. – № 5. – С. 83-87.

6. Сборник нормативно-технических и руководящих документов для работников Госприемки: в 3 ч. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 4.2. Оценка качества и аттестации продукции. – 352 с.

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

8. Ганицкий, В.Н. Совершенствование организации производства – ключевой фактор повышения эффективности работы карьеров / В.Н. Ганицкий, А.М. Макаров, В.А. Пикалов, В.Н. Лапаев, А.В. Соколовский // Горный журнал. – 2009. – № 11. – С. 34-36.

9. Ильин, С.А. Повышение экономической эффективности открытых горных работ / С.А. Ильин, В.С. Коваленко, Д.В. Пастихин // Горный журнал. – 2012. – № 6. – С. 56-65.

10. Cetin, N. Open-pit truck/shovel haulage system simulation : Ph. D. thesis. – Middle East Technical University, Turkey, 2004.

11. Воронов, А.Ю. Анализ критериев оптимизации непрерывного распределения карьерных автосамосвалов по пунктам погрузки // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: Сибресурс 2010. Т. 1: материалы XIII международной научно-практической конференции, Кемерово, ГУ КузГТУ, 28-29 октября 2010 г. – С. 188-192.

12. Зарипова, С.В. Оптимизация работы экскаваторно-автомобильных комплексов // Известия вузов. Горный журнал. – 2007. – № 3. – С. 105-108.

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.

**Anton Y. Voronov**<sup>1</sup>, **Alexey A. Khoreshok**<sup>2</sup>, Dr. Sc. in Engineering, Professor,  
**Yuri E. Voronov**<sup>2</sup>, Dr. Sc. in Engineering, Professor, **Vyacheslav L. Zhdanov**<sup>2</sup>, C. Sc. in Engineering,  
**Artyom Y. Voronov**<sup>2</sup>, C. Sc. in Engineering

<sup>1</sup>AO “UK “Kuzbassrazrezugol”, 4a, avenue Pionersky, Kemerovo, 650054, Russia

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

## JUSTIFICATING THE QUALITY INDICATORS OF THE SHOVEL-TRUCK SYSTEM OPERATION AT OPEN-PIT MINES

**Abstract:** *The urgency of the discussed issue. Loading and transport operations in open-pit mines are performed mainly by heavy shovel-truck systems (STS). One of the main problems of the STS is a rather low level of its operation quality, an objective assessment of which is an important step in identifying the causes of poor quality and effective ways to improve it. The purpose of assessing the STS operation quality is defined as a functional criterion. The next important step of the assessment is to choose the nomenclature of indicators which characterize the STS operation quality to the greatest effect.*

**The main aim of the study.** *Justification of the nomenclature of STS performance indicators for further quality assessment and for development of a methodology for optimizing STS indicators.*

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

**The results.** *The STS operation quality can be assessed by seven indicators, which are divided into four groups: indicators of the composition, structure and matching of loading and transport equipment fleets; indicators of the fleet performance (potential or actual); indicators of the value and structure of downtimes; indicators of the fleet productive use during a shift. The STS operation quality assessment by these indicators makes it possible to identify the main directions of increasing its operational performance.*

**Keywords:** *open-pit mining; shovel-truck system; operation quality; functional criterion; nomenclature of quality indicators.*

**Article info:** received October 01, 2019

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-3-3-9

### REFERENCES

1. Voronov Y. Functional quality criterion of rock handling mechanization at open-pit mines / Y. Voronov, A. Voronov // The II<sup>nd</sup> International Innovative Mining Symposium (Devoted to Russian Federation Year of Environment), Kemerovo, Russian Federation, November 20-22, 2017. E3S Web of Conferences, Volume 21.

2. Carter R.A. Fleet management: challenges and choices. Engineering & Mining Journal. Mar 2012. № 213(3). P. 28-32.

3. Lumley G. Trends in performance of open cut mining equipment. GBI Mining Intelligence white paper. 2012. 36 p.

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

5. Solod G.I. Problemy otsenki i povysheniya urovnya kachestva gornoj tehniki [Problems of assessing and improving the quality of mining equipment]. University news. Mining journal. 1985. № 5. P. 83-97. (rus)

6. Sbornik normativno-tehnicheskikh i rukovodjashchih dokumentov dlja rabotnikov Gospriyomki: v 3 chastjah [Collection of normative-technical and guidance documents for Gospriyomka employees: in 3 parts]. Moscow: Standards, 1987. 4.2. Otsenka kachestva i attestatsii produktsii [4.2. Assessment of product quality and certification]. 352 p. (rus)

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

8. Ganitsky V.N. Sovershenstvovanie organizatsii proizvodstva – kljuchevoj factor povysheniya effektivnosti raboty karierov [Improving the organization of production is a key factor in improving the efficiency of open-pit mines] / V.N. Ganitsky, A.M. Makarov, V.A. Pikalov, V.N. Lapaev, A.V. Sokolovsky // Mining Journal. 2009. № 11. P. 34-36. (rus)

9. Ilyin S.A. Povyshenie ekonomicheskoy effektivnosti otkrytyh gornyh rabot [Improving the economic efficiency of open pit mining] / S.A. Ilyin, V.S. Kovalenko, D.V. Pastikhin // Mining Journal. 2012. № 6. P. 56-65. (rus)

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

11. Voronov A.Y. Analiz kriteriev optimizatsii nepreryvnogo raspredelenija kariernyh avtosamosvalov po punktam pogruzki [Analysis of optimization criteria for continuous allocation of mining trucks between

loading points]. Proceedings of the SIBRESURS-2010 conference, Kemerovo, KuzSTU, October 28-29, 2010. Vol. 1. P. 188-192. (rus)

12. Zaripova S.V. Optimizatsiya raboty ekskavatorno-avtomobilnyh kompleksov [Optimization of the shovel-truck system operation]. University news. Mining journal. 2007. № 3. P. 105-108. (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. Mkhatsywa 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., Жданов В.Л., Воронов А.Ю. Обоснование показателей качества функционирования карьерного экскаваторно-автомобильного комплекса // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 4 (144). – С. 3-9.

#### **Reference to article**

Voronov A.Y., Khoreshok A.A., Voronov Yu.E., Zhdanov V.L., Voronov A.Y.. Justifying the quality indicators of the shovel-truck system operation at open-pit mines. Mining Equipment and Electromechanics, 2019, no. 4 (144), pp. 3-9.