

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 622.23.055.52

Ю.Е. Воронов, А.В. Буянкин

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

В настоящее время для оценки и сравнения горных машин различного назначения широкое применение получила методика безэкспертной оценки качества [1]. Методика, основываясь на фундаментальных принципах квалиметрии, позволяет количественно оценивать технический уровень и качество функционально однородных машин разных типов, типоразмеров и конструктивных исполнений на основе функционального критерия, определяющего ее основное назначение. Такие функциональные критерии уже разработаны для экскаваторов, механизированных крепей, добывающих комбайнов, бурового оборудования для подземных и открытых горных работ. Для карьерных автосамосвалов таких разработок нет.

Поскольку качество автосамосвала может проявиться только в процессе выполнения им своей функции в соответствии с назначением – при транспортировании горной массы (вскрышных пород или полезного ископаемого), имеющей определенные физико-механические свойства, – автосамосвал нельзя рассматривать в отрыве от перевозимой им горной массы. При этом необходимо учитывать и особенности автосамосвала как транспортирующей машины.

Особенностью транспортирующих машин является то, что они непосредственно не воздействуют на перевозимый груз (с точки зрения перевода его в другое состояние, что характерно, например, для породораз-

рушающих и выемочных машин – угольных комбайнов, экскаваторов, буровых станков), выполняя только функцию перемещения груза в пространстве, но взаимодействуют дополнительно с опорной поверхностью (дорогой).

Основной целью оценки качества взаимодействия автосамосвалов с транспортируемой горной массой и дорогой, как элементов общей системы транспортирования, является установление того, насколько эффективно каждый из них выполняет свою функцию в конкретных условиях. Для такой оценки необходимо иметь функциональный критерий взаимодействия элементов системы «автосамосвал – горная масса – дорога» с учетом ограничений, накладываемых окружающей средой.

С точки зрения взаимодействия основным назначением автосамосвала является обеспечение высокой производительности перевозок, основным свойством горной массы и дороги – способность сопротивляться перемещению автомобиля. Окружающая среда при этом ограничивает максимально эффективное использование автосамосвала. Параметром автосамосвала, в наибольшей степени определяющим эффективность транспортирования горной массы, является его производительность; в качестве главного параметра горной массы и дороги, в наибольшей степени характеризующего их способность сопротивляться транспортированию, может быть названа

удельная энергия транспортирования.

Произведение указанных главных параметров для автосамосвала, горной массы и дороги и составит функциональный критерий оценки качества карьерных автосамосвалов:

$$\lambda = W \cdot \Pi, \quad (1)$$

где Π – производительность автосамосвала; W – удельная энергия транспортирования горной массы.

Удельная энергия транспортирования представляет собой минимально необходимые затраты энергии на перемещение 1 т горной массы по дороге данного профиля протяженностью 1 км, должна полностью определяться физико-механическими свойствами транспортируемой горной массы, характеристиками опорной поверхности (дороги) и ее реакцией на воздействие автосамосвала и не зависеть от его типа, модели и конструктивного исполнения. Поэтому при сравнении между собой автосамосвалов с различной областью применения (рудовозы, углевозы), удельная энергия транспортирования будет играть роль масштабного фактора, который ставит в один ряд все автосамосвалы, позволяя сравнивать их технический уровень и качество.

Удельную энергию транспортирования горной массы можно определить из следующих соображений. В общем случае работа, необходимая для перемещения горной массы определенного веса и объема по дороге данного профиля и со-

стояния на определенное расстояние, будет равна разности работ, затрачиваемых автосамосвалом на движение с грузом и на движение порожнего автомобиля. Эта работа совершается за счет силы тяги автосамосвала и направлена на преодоление сил сопротивления движению. Сила тяги, которую может реализовать автомобиль, определяется характеристиками его двигателя и трансмиссии и не зависит от наличия или отсутствия в кузове груза. Сила сопротивления движению автосамосвала прямо зависит от его загрузки. Поэтому имеем:

$$A = (F_c^{ep} - F_c^{nop}) L, \quad (2)$$

где A – работа транспортирования горной массы, т · км; F_c^{ep} , F_c^{nop} – сила общего дорожного сопротивления движению груженого и порожнего автосамосвала соответственно, т; L – расстояние перевозки, км.

Силы общего дорожного сопротивления движению груженого и порожнего автосамосвала можно определить по формулам:

$$F_c^{ep} = \psi_{ep} (G_a + G_{ep}); \quad (3)$$

$$F_c^{nop} = \psi_{nop} G_a, \quad (4)$$

где ψ_{ep} , ψ_{nop} – коэффициент общего дорожного сопротивления движению автосамосвала с грузом и без груза соответственно; G_a – собственный вес автосамосвала, т; G_{ep} – вес горной массы в кузове, т.

Вес горной массы в кузове зависит от его вместимости, плотности горной массы, степени ее разрыхления и по величине может быть меньше, нежели номинальная грузоподъемность автосамосвала. Однако при оценке технического уровня, характеризующего техническое совершенство автосамосвала, а не качество его эксплуатации, в расчетах в качестве G_{ep} следует принимать номинальную грузоподъемность автосамосвала, записанную в его технической характеристике.

Коэффициент общего дорожного сопротивления в об-

щем случае может быть определен по формуле:

$$\psi = f_c \cos \alpha \pm \sin \alpha, \quad (5)$$

где f_c – коэффициент сопротивления качению автомобиля по дороге; α – угол подъема (спуска) трассы.

Если угол подъема (спуска) трассы выразить через уклон i , получим:

$$\psi = \frac{f_c \pm i}{\sqrt{1+i^2}}. \quad (6)$$

В выражениях (5) и (6) знак «+» свидетельствует о движении на подъем, знак «-» – на спуск. Для большинства карьеров движение на подъем характерно для груженого автосамосвала, под уклон – для порожнего. Обратная ситуация имеет место лишь для нагорных карьеров.

Подставляя выражение (6) в зависимость (2) с учетом (3) и (4), после преобразований получим:

$$A = \frac{G_{ep} L}{\sqrt{1+i^2}} [f_c + i(2k_m + 1)], \quad (7)$$

где $k_m = G_a / G_{ep}$ – коэффициент тары автосамосвала, характеризующий соотношение собственного веса автосамосвала и его грузоподъемности.

Для того, чтобы определить удельную энергию перемещения груза, полученное выражение необходимо отнести к величине $G_{ep} L$, характеризующей транспортную работу автосамосвала без учета влияния на него окружающей среды (дорожных условий, профиля трассы).

$$W = \frac{f_c + i(2k_m + 1)}{\sqrt{1+i^2}}. \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что удельная энергия транспортирования зависит только от вида, профиля и состояния дороги (f_c , i) и соотношения собственного веса автосамосвала G_a и его грузоподъемности G_{ep} , характеризующих реакцию дороги на воздействие автосамосвала.

В случае, когда уклон трассы отсутствует ($i = 0$), удельная

энергия транспортирования становится численно равной коэффициенту сопротивления качению автосамосвала, то есть

$$W = f_c. \quad (9)$$

В зависимости от того, какая производительность будет использована в формуле (1), полученный функциональный критерий может быть использован для оценки технического уровня автосамосвалов или уровня качества их эксплуатации.

Для сравнения существующих автосамосвалов между собой и при проектировании новой техники при расчете функционального критерия (1) следует использовать формулу для определения расчетно-теоретической производительности.

Производительность автосамосвала можно определить по формуле:

$$\Pi_m = G_{ep} \cdot v_{cp.m}, \quad (10)$$

где $v_{cp.m}$ – среднетехническая скорость движения автосамосвала по маршруту, км/ч.

Скорость движения автосамосвала является основным регулируемым параметром его работы, определяющим производительность, топливную экономичность, долговечность (износ шин, узлов, агрегатов). Рациональная скорость движения – это такая скорость, при которой обеспечивается максимально возможная в данных условиях производительность. А это осуществимо лишь при наибольшей скорости автосамосвала при условии соблюдения правил безопасности [2].

Маршрут движения автосамосвала можно укрупненно разбить на четыре участка:

- движение груженого автомобиля из карьера глубиной H вверх по уклону i ;

- движение груженого автосамосвала по горизонтальному участку (от карьера до отвала или склада) протяженностью L_z ;

- движение порожнего автосамосвала по горизонтальному участку от отвала (склада) до

карьера (расстояние L_e);
- движение порожнего автосамосвала в карьер вниз по уклона i на глубину H .

Естественно, скорости движения на всех участках маршрута будут различными. Поскольку нас интересуют максимальные возможные скорости движения автосамосвала на каждом из участков маршрута, то их мы и будем определять, имея в виду, что рассчитанные таким образом скорости не могут быть выше максимальной скорости автосамосвала, заложенной при его проектировании и записанной в его технической характеристике, то есть

$$v_i \leq v_{max}. \quad (11)$$

Тогда среднетехническая скорость автосамосвала согласно [2] может быть определена как:

$$v_{cp.m} = 2(L_e + H\sqrt{1+i^2}) / [L_e(\frac{v_{ep.e} + v_{nop.e}}{v_{ep.e}v_{nop.e}}) + H\sqrt{1+i^2}(\frac{v_{ep.h} + v_{nop.h}}{v_{ep.h}v_{nop.h}})], \quad (12)$$

где $v_{ep.h}$, $v_{ep.e}$ - максимальные скорости движения груженого автосамосвала на наклонном и горизонтальном участках маршрута соответственно, км/ч; $v_{nop.h}$, $v_{nop.e}$ - то же, для порожнего автосамосвала, км/ч.

Скорости движения будем определять из уравнения тягового баланса:

$$F_m \geq F_c, \quad (13)$$

где F_m - тяговое усилие, реализуемое в месте контакта ведущих колес с дорогой, т; F_c - сила сопротивления движению, т.

При этом считаем, что сила сцепления колес с дорогой достаточна для того, чтобы данное тяговое усилие было реализовано.

Тяговое усилие F_m при полном использовании мощности двигателя автомобиля определяется по известной формуле [3]:

$$F_m = 0,028 \frac{N_{\partial\theta}}{v}, \quad (14)$$

где $N_{\partial\theta}$ - мощность двигателя автосамосвала, кВт; v - скорость движения, км/ч.

Сила сопротивления движению груженого автосамосвала на наклонном участке (из карьера вверх по уклону) в соответствии с (3) и (6) составляет:

$$F_c^{ep.h} = \frac{f_c + i}{\sqrt{1+i^2}}(G_a + G_{cp}), \quad (15)$$

а порожнего (в карьер вниз по уклону) -

$$F_c^{nop.h} = \frac{f_c - i}{\sqrt{1+i^2}}G_a. \quad (16)$$

Соответственно, силы сопротивления движению на горизонтальном участке:

- для груженого автосамосвала:

$$F_c^{ep.z} = f_c(G_a + G_{cp}); \quad (17)$$

- для порожнего автосамосвала:

$$F_c^{nop.z} = f_c G_a. \quad (18)$$

Подставляя выражения (15-18) и (14) в (13) и решая их относительно скоростей, получим следующие зависимости.

Для движения груженого автосамосвала:

- на горизонтальном участке:

$$v_{ep.z} \leq \frac{0,028 N_{\partial\theta}}{f_c(G_a + G_{cp})}, \quad (19)$$

- на наклонном участке:

$$v_{ep.h} \leq \frac{0,028 N_{\partial\theta} \sqrt{1+i^2}}{(f_c + i)(G_a + G_{cp})}. \quad (20)$$

Для порожнего автомобиля:

- на горизонтальном участке:

$$v_{nop.z} \leq \frac{0,028 N_{\partial\theta}}{f_c G_a}; \quad (21)$$

- на наклонном участке:

$$v_{nop.h} \leq \frac{0,028 N_{\partial\theta} \sqrt{1+i^2}}{(f_c - i)G_a}. \quad (22)$$

Если ограничения (11) отсутствуют, то подстановка (19-22) в (12) даст следующее выражение для среднетехнической скорости автосамосвала на маршруте:

$$v_{cp.m} = \frac{0,056 N_{\partial\theta}}{G_{cp}} \times \times \frac{(iL_e + H\sqrt{1+i^2})}{f_c(2k_m + 1)(H + iL_e) + iH}, \quad (23)$$

и для производительности автосамосвала:

$$\Pi_m = \frac{0,056 N_{\partial\theta} (iL_e + H\sqrt{1+i^2})}{iH + f_c(2k_m + 1)(iL_e + H)}. \quad (24)$$

Так как сравнение технического уровня автосамосвалов должно осуществляться при одинаковых условиях (L_e , H , i , f_c) [1], то, принимая для простоты $L_e = 0$, получим:

$$\Pi_m = \frac{0,056 N_{\partial\theta} \sqrt{1+i^2}}{i + f_c(2k_m + 1)}. \quad (25)$$

Подставив это выражение и выражение для удельной энергии транспортирования (8) в формулу (1), получим зависимость для определения функционального критерия оценки технического уровня карьерных автосамосвалов (кВт):

$$\lambda = 0,056 N_{\partial\theta} \frac{f_c + i(2k_m + 1)}{i + f_c(2k_m + 1)}. \quad (26)$$

Как видно из выражения (26), значение функционального критерия для карьерных автосамосвалов при прочих равных условиях (f_c , i) полностью определяется мощностью первичного двигателя автосамосвала $N_{\partial\theta}$ и соотношением собственного веса автомобиля и его грузоподъемности ($k_m = G_a / G_{cp}$).

Обозначив в (26) соотношение f_c / i как коэффициент весомости элементов дорожного сопротивления k_c , получим выражение:

$$\lambda = 0,056 N_{\partial\theta} \frac{k_c + (2k_m + 1)}{1 + k_c(2k_m + 1)}, \quad (27)$$

которое свидетельствует о том, что функциональный критерий λ зависит не от коэффициентов сопротивления качению автосамосвала f_c и уклона i в от-

дельности, а от их соотношения f_c / i (i / f_c).

Из выражения (26) следует также, что при нулевом уклоне ($i = 0$) функциональный критерий становится равным

$$\lambda = \frac{0,056 N_{\partial\sigma}}{2k_m + 1}, \quad (28)$$

и, следовательно, зависит только от мощности двигателя ав-

томобиля $N_{\partial\sigma}$ и коэффициента тары k_m и не зависит от дорожных условий f_c .

Функциональный критерий в виде (26) или (27) позволяет количественно оценить выполнение автосамосвалом своей функции и может быть использован при комплексной оценке технического уровня карьерных

автосамосвалов. Функциональный критерий в виде (28), поскольку он не учитывает уклонов трассы, характерных для работы карьерного автотранспорта, может быть использован для оценки технического уровня грузового автотранспорта общего пользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солод Г.И. О квалиметрии. – М.: МГИ, 1991. – 94 с.
2. Казарез А.Н., Кулешов А.А. Эксплуатация карьерных автосамосвалов с электромеханической трансмиссией. – М.: Недра, 1988. – 264 с.
3. Литвинов А.С., Фаробин Н.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

УДК 622.23.055.52

Ю.Е. Воронов, А.В. Буянкин

ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

В последние годы для оценки качества горных машин широкое распространение получила методика безэкспертной оценки на основе функционального критерия [1]. Эта методика использована для оценки качества экскаваторов, шахтных транспортных и выемочных машин, гидравлических крепей, бурowego оборудования для подземных и открытых работ. Интерпретации методики на карьерные автосамосвалы до настоящего времени не произведено.

Одним из важнейших этапов методики является обоснование необходимой и достаточной номенклатуры показателей качества. Именно в этом вопросе наблюдается наибольший разнобой в подходах, эмпиризм, что приводит, в конечном счете, к искаженным оценкам.

Номенклатура показателей, характеризующих качество эксплуатации карьерных автосамосвалов, должна устанавливаться, прежде всего, в зависимости от выбранного критерия.

Функциональный критерий,

в соответствии с [1], характеризует эффективность выполнения автосамосвалами своих функций в конкретных условиях эксплуатации. Система технико-эксплуатационных показателей, рекомендуемая для оценки уровня использования автосамосвалов и результатов их работы, а также для целей планирования, включает количественные (интенсивного использования) и качественные (экстенсивного использования) показатели [2].

К показателям интенсивного использования, характеризующими транспортную работу по перемещению горной массы, относят следующие.

1. Инвентарное (среднесписочное) число автомобилей A_{cn} . Среднесписочное число автомобилей составляют технически исправные автомобили, готовые к эксплуатации, автомобили, находящиеся в техническом обслуживании и ремонте, и автомобили, предназначенные к списанию.

Среднесписочное количество автомобилей в конкретном

автохозяйстве определяется за определенный период (месяц, год) с учетом поступления в течение этого периода новых автомобилей и исключения из списочного парка автомобилей по разным причинам.

2. Количество автомобиле-дней пребывания в автохозяйстве AD_k за определенный период определяется среднесписочным числом автомобилей (показатель 1) и продолжительностью рассматриваемого периода.

3. Количество автомобиле-дней пребывания в работе AD_3 представляет собой количество автомобиле-дней пребывания в автохозяйстве (показатель 2) за вычетом автомобиле-дней простоя (выходные и праздничные дни, периоды бездорожья во время снежных заносов и осенне-весенней распутицы и др.).

4. Количество автомобиле-тонно-дней пребывания в автохозяйстве ATD_k зависит от количества автомобиле-дней пребывания в автохозяйстве (показатель 2) и средней грузоподъемности среднесписочного