

□ Авторы статьи:

Фурман
Андрей Сергеевич
- старший преподаватель кафедры
эксплуатации автомобилей

Ашихмин.
Виталий Евгеньевич
- ассистент кафедры эксплуатации
автомобилей

УДК 622.23.055.52

Ю.Е. Воронов, С.В. Басманов

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

В настоящее время для оценки и сравнения горных машин различного назначения широкое применение получила методика безэкспертной оценки качества [1]. Основываясь на фундаментальных принципах квалиметрии, она 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 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 породоразрушающих и выемочных машин, экскаваторов, буровых

станков), выполняя лишь функцию перемещения груза, но взаимодействуют 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 необходим функциональный критерий взаимодействия элементов системы «автосамосвал – горная масса – дорога».

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 действие 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 все автосамосвалы в один ряд.

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 состояния 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, определя-

ется характеристиками его двигателя и трансмиссии и не зависит от наличия 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, МДж; F_c^{ep} , F_c^{nop} – сила общего дорожного сопротивления движению груженого и порожнего автосамосвала соответственно, кН; L – расстояние перевозки, км.

Силы общего дорожного сопротивления движению груженого и порожнего автосамосвала:

$$F_c^{ep} = \psi_{ep} g(m_a + m_{ep}); \quad (3)$$

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

где ψ_{ep} , ψ_{nop} – коэффициенты общего дорожного сопротивления движению автосамосвала с грузом и без груза соответственно; m_a – собственная масса автосамосвала, т; m_{ep} – масса горной массы в кузове, т.

Масса 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 совершенства автосамосвала, а не качества его эксплуатации, в расчетах в качестве m_{ep} следует принимать номинальную грузоподъемность автосамосвала, записанную в его технической характеристике.

Коэффициент общего дорожного сопротивления в общем 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 карье-

ров движение на подъем характерно для груженого автосамосвала, под уклон – для порожнего.

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

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

где $k_m = m_a / m_{ep}$ – коэффициент тары автосамосвала, характеризующий соотношение собственного массы автосамосвала и его грузоподъемности.

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

$$W = \frac{g[f_c + i(2k_m + 1)]}{\sqrt{1+i^2}}, \quad (8)$$

Из (8) видно, что удельная энергия транспортирования зависит только от вида, профиля и состояния дороги (f_c , i) и соотношения собственной массы автосамосвала m_a и его грузоподъемности m_{ep} , характеризующих реакцию дороги на воздействие автосамосвала.

При отсутствии уклона трассы ($i = 0$) (8) примет вид:

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

В зависимости от того, какую производительность использовать в (1), полученный критерий можно использовать для оценки технического уровня автосамосвалов или уровня качества их эксплуатации.

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

Производительность автосамосвала можно определить по формуле (т · км / ч):

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

где $v_{cp.m}$ – среднетехническая скорость движения автосамо-

свала 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 максимальна 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_e ;

- движение порожнего автосамосвала по горизонтальному участку от отвала (склада) до карьера (расстояние L_e);

- движение порожнего автосамосвала в карьер вниз по уклону i на глубину H .

Естественно, скорости движения на всех участках маршрута различны. Поскольку нас интересуют максимально возможные скорости движения автосамосвала на каждом из участков маршрута, то их мы и будем определять, имея в виду, что рассчитанные 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 [2]

$$v_{cp.m} = 2(L_e + H\sqrt{1+i^2}) \times \times [L_e(\frac{v_{ep.e} + v_{nop.e}}{v_{ep.e} \cdot v_{nop.e}}) +$$

$$H\sqrt{1+i^2}(\frac{v_{ep.H} + v_{nop.H}}{v_{ep.H} \cdot v_{nop.H}})], \quad (12)$$

где $v_{ep.H}$, $v_{ep.e}$ – максимальные скорости движения груженого

автосамосвала на наклонном и горизонтальном участках маршрута соответственно, км / ч; $v_{por.h}$, $v_{por.z}$ – 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, кН; F_c – сила сопротивления движению, кН.

При этом считаем, что сила сцепления колес с дорогой достаточна для реализации данного тягового усилия.

Тяговое усилие F_m при полном использовании мощности двигателя автомобиля [3]:

$$F_m = 0,28 \frac{N_{\partial\theta}}{v}, \quad (14)$$

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:

$$F_c^{zr.h} = \frac{g(f_c + i)}{\sqrt{1+i^2}} (m_a + m_{zp}), \quad (15)$$

а порожнего (вниз по уклону) –

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

Соответственно, силы сопротивления движению на горизонтальном участке:

- для груженого автосамосвала:
 $F_c^{zr.z} = g f_c (m_a + m_{zp}); \quad (17)$

- для порожнего автосамосвала:
 $F_c^{npor.z} = g f_c m_a. \quad (18)$

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

зависимости.

Для движения груженого автосамосвала:

- на горизонтальном участке:

$$v_{zp.z} \leq \frac{0,28 N_{\partial\theta}}{g \cdot f_c (m_a + m_{zp})}, \quad (19)$$

- на наклонном участке:

$$v_{zp.h} \leq \frac{0,28 N_{\partial\theta} \sqrt{1+i^2}}{g(f_c + i)(m_a + m_{zp})}. \quad (20)$$

Для порожнего автомобиля:

- на горизонтальном участке:

$$v_{npor.z} \leq \frac{0,28 N_{\partial\theta}}{g \cdot f_c \cdot m_a}; \quad (21)$$

- на наклонном участке:

$$v_{npor.h} \leq \frac{0,28 \cdot N_{\partial\theta} \sqrt{1+i^2}}{g(f_c - i)m_a}. \quad (22)$$

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

$$v_{cp.m} =$$

$$\frac{0,56 N_{\partial\theta} (iL_z + H\sqrt{1+i^2})}{g[f_c(2k_m + 1)(H + iL_z) + iH]m_a}, \quad (23)$$

и для производительности автосамосвала:

$$\Pi_m = \frac{0,56 N_{\partial\theta} (iL_z + H\sqrt{1+i^2})}{g[iH + f_c(2k_m + 1)(iL_z + H)]}. \quad (24)$$

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

$$\Pi_m = \frac{0,56 N_{\partial\theta} \sqrt{1+i^2}}{g[i + f_c(2k_m + 1)]}. \quad (25)$$

Подставив (25) и (8) в (1), получим:

$$\lambda = 0,56 N_{\partial\theta} \frac{f_c + i(2k_m + 1)}{i + f_c(2k_m + 1)}. \quad (26)$$

Как видно из (26), значение функционального критерия для карьерных автосамосвалов при прочих равных условиях (f_c , i) полностью определяется мощностью первичного двигателя автосамосвала $N_{\partial\theta}$ и отношением собственной массы и грузоподъемности автомобиля.

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

$$\lambda = 0,56 N_{\partial\theta} \frac{k_c + (2k_m + 1)}{1 + k_c(2k_m + 1)}, \quad (27)$$

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

$$\lambda = \frac{0,56 \cdot N_{\partial\theta}}{2k_m + 1}, \quad (28)$$

т.е. зависит только от $N_{\partial\theta}$ 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.

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.

□ Авторы статьи:

Воронов

Юрий Евгеньевич

- докт. техн. наук, проф., зав. каф.
«Автомобильные перевозки»

Басманов

Сергей Владимирович

- ведущий инженер Управления технологического транспорта ОАО УК
«Южный Кузбасс», г. Междуреченск.