

УДК 629.3

## УПРОЩЕННАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ КАРЬЕРНОГО АВТОСАМОСВАЛА

Ерофеева Н.В, к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Элементарная работа (Дж) равнодействующих сил, действующих на автосамосвал:

$$(F - \Sigma W)dl = dA, \quad (1)$$

где  $F$  – сила тяги, Н;  $\Sigma W$  – суммарная сила сопротивления движению, Н;  $dl$  – элементарный пройденный путь, м.

Работа равна кинетической энергии (Дж), которую определяют как:

$$E = \frac{M_{\text{пр}} V^2}{2},$$

где  $M_{\text{пр}}$  – приведенная масса с учетом вращающихся частей, кг;  $V$  – скорость движения автосамосвала, м/с.

Приведенная масса груженого автосамосвала (кг) с учетом вращающихся элементов

$$M_{\text{пр}} = (q_{\text{т}} + q)10^3 \gamma_{\text{н}}, \quad (2)$$

где  $q_{\text{т}}$  – собственная масса автосамосвала, т;  $q$  – фактическая масса автосамосвала, т;  $\gamma_{\text{н}}$  – коэффициент, учитывающий наличие вращающихся масс (при гидромеханической трансмиссии в груженом режиме  $\gamma_{\text{н}} = 1,03 \div 1,01$ , в пустом режиме  $\gamma_{\text{н}} = 1,085 \div 1,07$ ; при электромеханической –  $\gamma_{\text{н}} = 1,10 \div 1,15$  [1]).

Таким образом,  $dA = dE$ . Элементарную кинетическую энергию записываем как

$$dE = M_{\text{пр}} V dV. \quad (3)$$

Подставляем (1) в (3) с учетом  $V = \frac{dl}{dt}$  (здесь  $t$  – время, с).

$$F - \Sigma W = M_{\text{пр}} V \frac{dV}{dl} = M_{\text{пр}} \frac{dl}{dt} \frac{dV}{dl} = M_{\text{пр}} \frac{dV}{dt} = M_{\text{пр}} a, \quad (4)$$

где  $a$  – ускорение автосамосвала, м/с<sup>2</sup>.

Следовательно, уравнение движения автосамосвала примет вид

$$F = \Sigma W + M_{\text{пр}} a.$$

Для определения суммарного сопротивления движению автосамосвала рассмотрим действующие на машину силы (рис. 1).

Силу трения (Н) определяют как произведение нормальной реакции на коэффициент сопротивления движению, т. е.

$$F_{\text{тр}} = (q_T + q)g \cos \beta \omega_0,$$

где  $\beta$  – угол наклона дорожного полотна, градус;  $\omega_0$  – сопротивление движению колес автосамосвала, Н/кН.

Косинус малых углов в качестве приближенного значения можно принять за единицу [2], поэтому силу трения (Н) переписываем как

$$F_{\text{тр}} = (q_T + q)g \omega_0$$

и переименовываем в силу основного сопротивления (Н)

$$W_0 = (q_T + q)g \omega_0.$$

Передвижению машины препятствует составляющая (Н)

$$1000(q_T + q)g \sin \beta. \quad (5)$$

Для малых углов синус равен тангенсу [2], поэтому

$$1000(q_T + q)g \tan \beta.$$

Как известно, уклон дороги считают в промилле (‰), который можно определить как

$$i = 1000 \frac{h}{l} = 1000 \tan \beta, \quad (6)$$

где  $h$  – высота подъема, м;  $l$  – длина участка подъема, м.

Переименовав составляющую (5) в сопротивление (Н) от уклона с учетом (6), причем знак уклона берут положительным при движении на подъем и отрицательным – на спуск, записываем

$$W_i = (q_T + q)gi.$$

На криволинейных участках с малым радиусом закругления  $R$  (см. рис. 1) удельное сопротивление движению (Н/кН) груженого автосамосвала согласно [3] определяют как

$$\omega_{\text{кр}} = 300 \frac{200 - R}{200} \frac{R}{(q_T + q)g}.$$

Сопротивление движению (Н) на поворотах с малым радиусом вычисляют как произведение удельного сопротивления на полный вес самосвала по формуле [3]

$$W_{\text{кр}} = 300 \frac{200 - R}{200} R.$$

При больших радиусах закругления сопротивление движению (Н) на поворотах определяют как часть сопротивления (Н) от сил инерции автосамосвала

$$W_{\text{кр}} = (0,05 \div 0,08)W_j.$$

Сопротивление (Н) от воздушной среды считают как

$$W_B = \frac{c_x \rho_B}{2} \frac{A_B (V_a - V_B)^2}{3,6^2},$$

где  $V_a = 3,6V$  – скорость движения автосамосвала, км/ч;  $V_v$  – скорость ветра или параллельная направлению движения автосамосвала составляющая скорости ветра, км/ч;  $c_x$  – коэффициент обтекаемости;  $\rho_v$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $A_v$  – общая площадь лобовых поверхностей автосамосвала, м<sup>2</sup>.

При движении автосамосвала на подъем скорость (км/ч) груженого автосамосвала без учета ветровой нагрузки и сопротивления на повороте определяют [3]

$$V_a = \frac{3600N_{\text{дв}}}{(\omega_0 + i)(q_T + q)g} \eta_{\text{ом}} \eta_{\text{тр}} \eta_{\text{к}},$$

где  $N_{\text{дв}}$  – мощность двигателя, кВт;  $\eta_{\text{ом}} = 0,85 \div 0,90$  – коэффициент отбора мощности на вспомогательные механизмы автосамосвала;  $\eta_{\text{тр}}$  – КПД трансмиссии, передающий вращающий момент от вала двигателя к движущим колесам (при гидромеханической (в состав трансмиссии входят согласующий редуктор, гидротрансформатор, коробка передач, редуктор заднего моста) –  $\eta_{\text{тр}} = 0,70 \div 0,72$ , при электромеханической (в состав входят генератор, тяговый электродвигатель, редуктор мотор-колеса) –  $\eta_{\text{тр}} = 0,69 \div 0,71$ );  $\eta_{\text{к}} = 0,95$  – КПД колеса.

При этом необходимо учесть рекомендации заводов-изготовителей, которые ограничивает скорость движения автосамосвала с целью снижения преждевременного износа (разрушения) шин в результате их нагревания. Так, например, для груженого автосамосвала БелАЗ 7547, перевозящего груз на расстояние от 4 до 8 км, скорость движения по ровному дорожному полотну должна быть не более 30÷35 км/ч. При наличии неровностей на дорогах этот показатель может быть снижен до 15÷20 км/ч [4].

Ускорение (м/с<sup>2</sup>) автосамосвала находят как

$$a = \frac{V_{a_i}^2 - V_{a_{i-1}}^2}{2 \cdot 3,6^2 l_i},$$

где  $V_{a_i}$ ,  $V_{a_{i-1}}$  – скорость движения автосамосвала на последующем и предыдущем участках, км/ч;  $l_i$  – длина участка, м.

При движении по криволинейным участкам дороги необходимо учитывать снижение скорости до значения (км/ч), безопасного по условию заноса автосамосвала [3]

$$V_{\text{без}} = 3,6 \sqrt{gR(f_{\text{ск}} \pm f_v)},$$

где  $f_{\text{ск}} = 0,3 \div 0,45$  – коэффициент бокового скольжения;  $i_v = 0,03 \div 0,06$  – попеченный уклон виража.

Кроме того, некоторые заводы-изготовители прописывают рекомендуемые скорости движения автосамосвала на поворотах. Например, для автосамосвала-углевоза БелАЗ 7547 рекомендуемая скорость движения на поворотах не более 10 км/ч [4].

Суммарное сопротивление движению автосамосвала

$$\Sigma W = W_0 \pm W_i + W_{\text{кр}} + W_v + B,$$

отсюда сила тяги

$$F = W_0 \pm W_i + W_{kp} + W_B + B + M_{np} a, \quad (7)$$

где  $B$  – суммарное тормозное усилие, Н;  $a$  – ускорение (замедление) автосамосвала,  $\text{м/с}^2$ .

При подстановке ускорения (замедления) в (7) учитывают его знак.

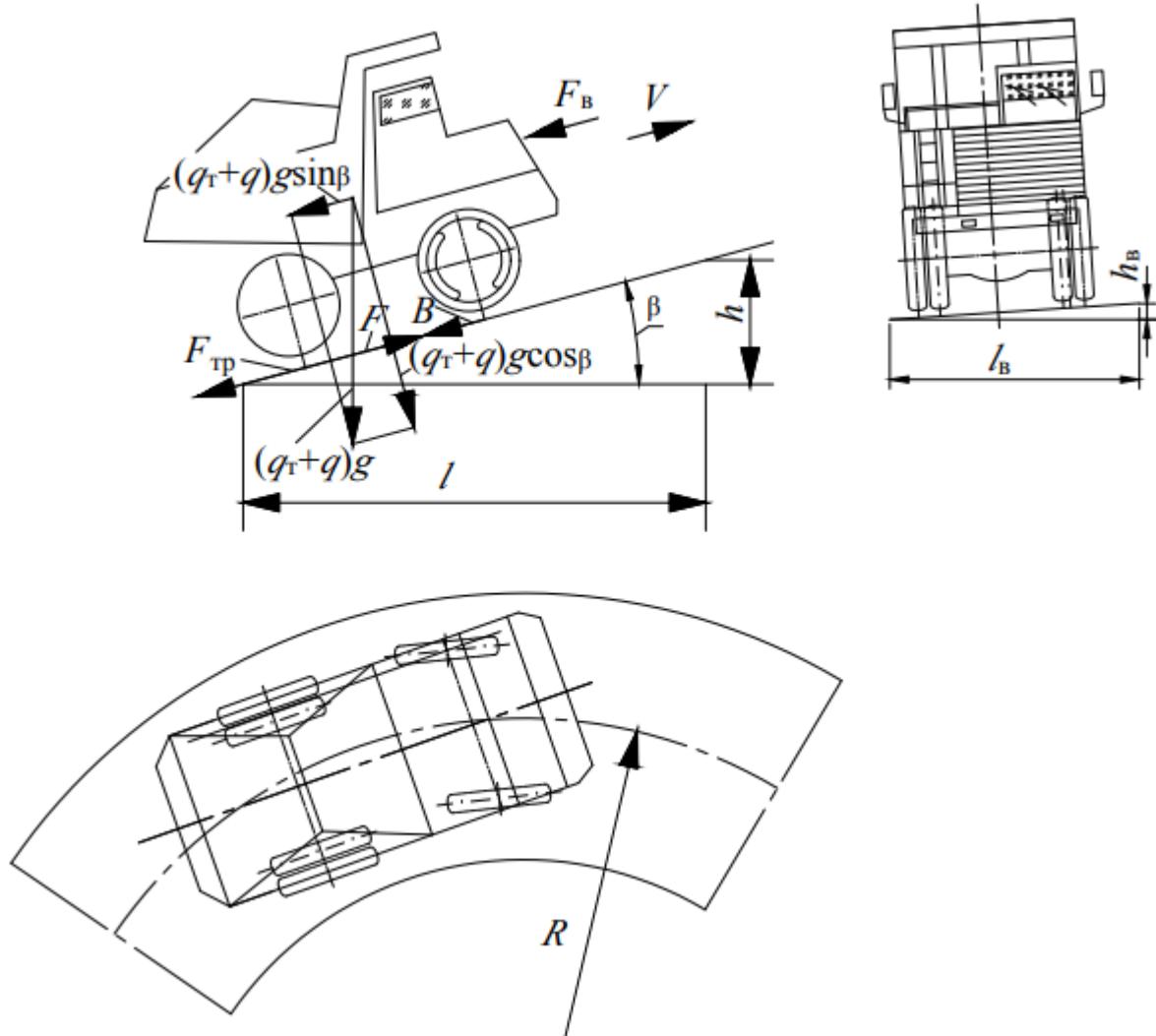


Рис. 1. Схема действия сил на груженый самосвал при его движении на подъем по криволинейной трассе

Для графического определения скорости движения на тяговую характеристику автосамосвала наносят силы сопротивления движению. Точка пересечения линии силы тяги с линией суммарного сопротивления движению определяет скорость движения машины на данном участке дороги [1]. Так, для груженого автосамосвала Белаз 75473 методика определение скорости движения согласно источнику [1] при параметрах, указанных в табл. 1, показана на рис. 2. Кроме скорости необходимо определить тяговое усилие, при этом тяговое усилие должно быть равным или большим суммарному сопротивлению движению автосамосвала.

Таблица 2

15,7	$i_{c,i}^{\Gamma}$ , ‰	Средневзвешенный уклон спрямляемого участка
60,0	$W_{0,i}^{\Gamma}$ , ‰	Обобщенный коэффициент сопротивления движению автосамосвала
16,8	$V_{a,i}^{\Gamma,p}$ , км/ч	Расчёчная скорость автосамосвала
15,0	$V_{a,i}^{\Gamma}$ , км/ч	Принятая скорость автосамосвала
0,1623	$W_{b,i}^{\Gamma}$ , ‰	Удельное сопротивление воздушной среды
0,13	$a_{a,i}^{\Gamma}$ , м/с <sup>2</sup>	Ускорение (замедление ) автосамосвала
13,5	$w_{j,i}^{\Gamma}$ , ‰	Удельное сопротивление от силы инерции
0,0	$w_{kp,i}^{\Gamma}$ , ‰	Удельное сопротивление криволинейного участка
42978	$W_{0,i}^{\Gamma}$ , Н	Основная сила сопротивления
116	$W_{vet,i}^{\Gamma}$ , Н	Сила сопротивления воздушной среды
11246	$W_{yuk,i}^{\Gamma}$ , Н	Сила сопротивления от уклона
9670	$W_{j,i}^{\Gamma}$ , Н	Сила инерции
0	$W_{kp,i}^{\Gamma}$ , Н	Сила сопротивления от кривизны дороги
64010	$W_i^{\Gamma}$ , Н	Сумма сил сопротивления движению

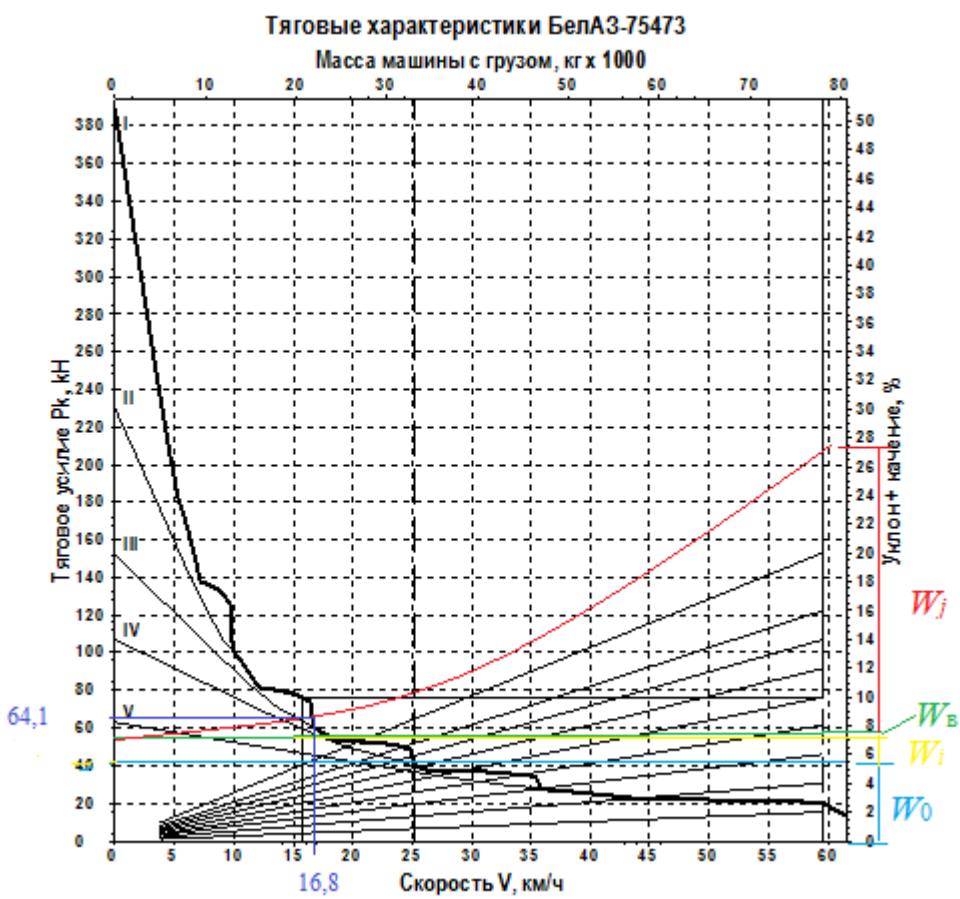


Рис. 2. К определению скорости движения и тягового усилия автосамосвала БелАЗ 75473

Согласно методике определения скорости движения, разработанной ОАО «БелАЗ», определяют суммарное удельное сопротивление движению [5]. Далее находят фактическую массу автосамосвала, проводят линию до пересечения с наклонным лучом, соответствующим суммарному удельному сопротивлению (рис. 3). Причем необходимо учесть, что единица измерения удельного сопротивления – проценты. Проводят линию влево до пересечения с кривой тяговой характеристики, далее откладывают вертикаль из полученной точки пересечения и определяют скорость движения автосамосвала на данном участке.

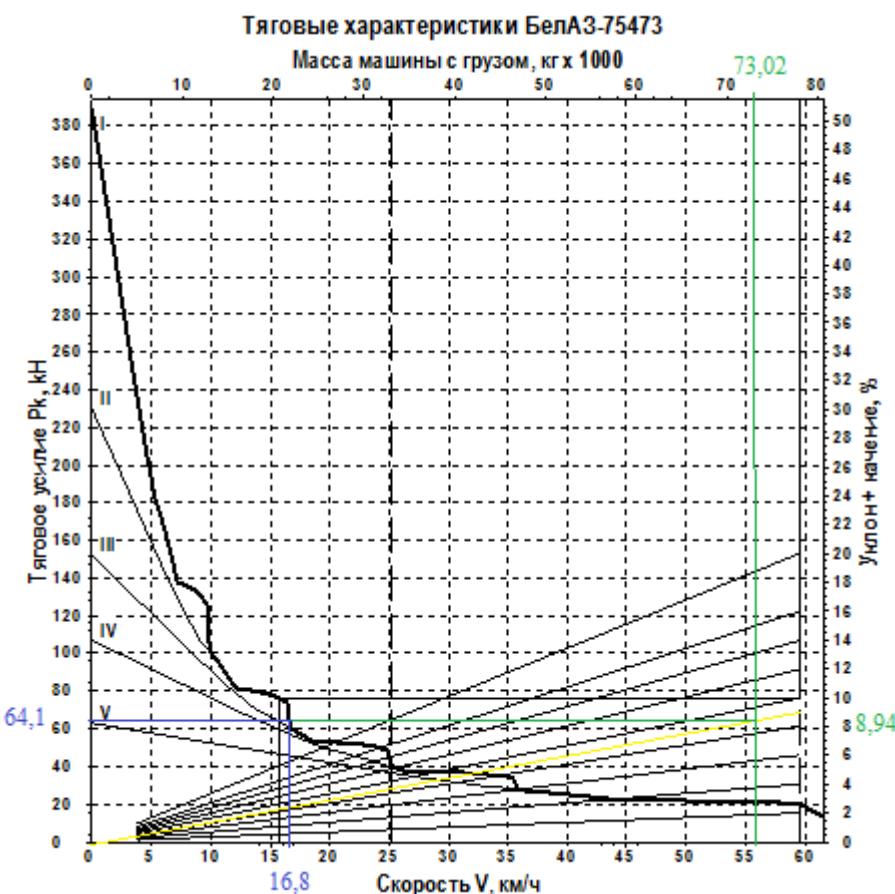


Рис. 3. К определению скорости движения и силы тяги по методике ОАО «БелАЗ»

Таким образом, по тяговой характеристике определяют скорость движения автосамосвала. Однако скорость движения машины должна быть скорректирована по условию безопасности движения – видимости на дороги, погодным условиям и на участках, на которых ограничено движение (например, в забое).

### Список литературы

1. Потапов, М. Г. Карьерный транспорт. Учебник для техникумов / М. Г. Потапов – Изд. 4-е, перераб. и доп. – Москва : Недра, 1980. – 264 с.

2. Гельфанд, И. М. Тригонометрия / И. М. Гельфанд, С. М. Львовский, А. Л. Тоом. – Москва: МЦНМО, 2002 – 199 с.
3. Спиваковский, А. О. Транспортные машины и комплексы открытых горных разработок. Учебник для вузов / А. О. Спиваковский, М. Г. Потапов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Недра, 1983. – 383 с.
4. Карьерный автосамосвал БелАЗ 7547 и его модификации. Руководство по эксплуатации. – Республика Беларусь. РУПП «Белорусский автомобильный завод», 2007. – 276 с.
5. Технические и эксплуатационные характеристики выпускаемой продукции : справочник ОАО «БелАЗ» // Под общ. ред. А. Н. Егорова. – Минск : Бенлстан, 2015. – 496 с.