

УДК 622.684

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

Семенов А.П., студент гр. ГЭс-201, IV курс,

Коршунова Е.В., студент гр. ИТб-201, IV курс

Научный руководитель: Захаров А.Ю, д.н., профессор

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

Сопоставление отечественных и зарубежных подходов к определению скорости движения карьерных самосвалов в горных условиях может охватывать различные аспекты, такие как точность измерений, применяемые технологии, эффективность и удобство использования.

Технико-экономические показатели карьерных самосвалов сильно зависят от дорожных условий. Дорожная среда в карьере имеет различные характеристики, включая:

1. Тип покрытия:
 - a. асфальт,
 - b. грунт;
2. Количество полос движения:
 - a. одна,
 - b. две
 - c. более;
3. Режим использования:
 - a. постоянный
 - b. временный;
4. Расположение:
 - a. уступы,
 - b. перекрестки,
 - c. наклоны,
 - d. отвалы.

Рассмотрим определение скорости движения карьерного самосвала по горным выработкам отечественным методом.

Суммарное сопротивление движению автосамосвала W , Н, складывается из сопротивлений: основного W_o , воздушной среды W_b , от уклона W_i , инерции вращающихся масс W_j и на криволинейных участках W_R .

$$W = W_o + W_b \pm W_i + W_j + W_R. \quad (1)$$

Суммарное сопротивление движению автосамосвала рассчитывается на каждом участке трассы как в грузовом, так и в порожняковом направлениях.

Силу основного сопротивления движению автосамосвала определяют по формуле

$$W_o = \omega_o \times M \quad (2)$$

где ω_o – удельное основное сопротивление движению автосамосвала, Н/т;

M – полная масса автосамосвала, т:

с грузом $M = (q + q_T)$, без груза $M = q_T$.

где q – грузоподъемность, т;

q_T – масса тары, т.

В зависимости от назначения дороги и типа дорожного покрытия рекомендуются следующие значения ω_o – (Н/т).

Постоянные откаточные дороги с покрытием:

- бетонным, асфальтовым 150–200;
- щебеночным, гравийным 250–400.

Забойные дороги:

- на скальных породах 400–600;
- на рыхлых породах 600–1 000.

Отвалыные дороги:

- на скальных породах 900–1 200;
- на рыхлых породах 1 200–2 000

Приведенные значения ω_o относятся к груженным автосамосвалам, для порожних автомобилей эти значения необходимо увеличить на 20...25%.

Силу сопротивления воздушной среды W_v , Н, определяют по формуле

$$W_v = \lambda_n \cdot S_m \cdot (v \pm v_v)^2 / 3,6^2 \quad (3)$$

где λ_n – коэффициент обтекаемости автосамосвала, $\lambda_n = 5,5...7,0$;

S_m – площадь лобовой поверхности автосамосвала, м²;

v – скорость движения автосамосвала при установившемся режиме, км/ч;

v_v – скорость ветра, совпадающая с направлением движения машины.

При движении на подъем или по горизонтальному участку скорость v_a определяется по формуле:

$$v_a = \frac{3600 \cdot N_{дв}}{(\omega_{огр} + g \cdot i) M} \cdot \eta_{ом} \cdot \eta_{тр} \quad (4)$$

где $N_{дв}$ – мощность двигателя автомобиля, кВт;

i – величина уклона на данном участке, ‰;

$\eta_{ом}$ – коэффициент отбора мощности, $\eta_{ом} = 0,88...0,9$;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии (для гидромеханической $\eta_{тр} = 0,7...0,72$; для электромеханической $\eta_{тр} = 0,66...0,69$).

Если алгебраическая сумма $(u_{\pm} u_b) \leq 35$ км/ч сопротивлением воздушной среды в расчетах можно пренебречь

Силу сопротивления от уклона автодороги определяют по формуле.

Силу сопротивления, вызываемого инерцией вращающихся масс, W_j рассчитывают по формуле:

$$W_j = 1000M (1 + \gamma_a) * a \quad (5)$$

где $\gamma_{\text{и}}$ – коэффициент инерции вращающихся масс автомобиля (при гидромеханической трансмиссии $\gamma_{\text{и}} = 0,01 \dots 0,03$, при электромеханической – $\gamma_{\text{и}} = 0,1 \dots 0,15$);

a – ускорение (замедление) автосамосвала, м/с²:

$$a = \frac{v_{a_i}^2 - v_{a_{(i-1)}}^2}{3,6 * l_i} \quad (6)$$

где $v_{a_i}^{\square}$, $v_{a_{(i-1)}}^{\square}$, – скорость движения автосамосвала, соответственно, на последующем и предыдущем участках трассы, км/ч;
 l_i – длина i -го участка трассы, м.

Силу сопротивления на криволинейных участках автодороги W_R с радиусом $R \leq 70$ м вычисляют по формуле

$$W_R = 300 \frac{200 - R}{200} M \quad (7)$$

а при больших радиусах поворота

$$W_R = (0,05 \dots 0,08) * W_i \quad (8)$$

В расчёте скорости карьерного самосвала по российской и белорусской методике используется коэффициент сопротивления качению. График, отображенный на Рисунке 1, демонстрирует определение скорости самосвала при движении вверх с учетом угла наклона и массы самосвала с грузом.

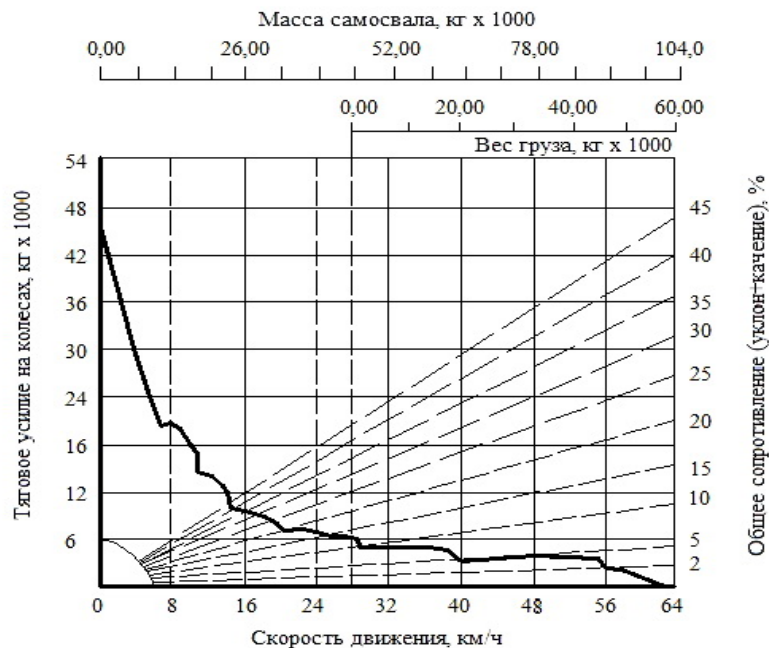


Рисунок 1 – Определение скорости самосвала при движении на подъем

Для определения тяговой характеристики автосамосвала по графику следует выполнить следующие шаги:

1. Определить массу автосамосвала с грузом по верхней горизонтальной шкале.
2. Провести линию вниз до пересечения с наклонным лучом общего сопротивления (сумма уклона и сопротивления качению).
3. Провести линию влево от полученной точки до пересечения с кривой тяговой характеристики.
4. Провести вертикальную линию из этой точки до нижней шкалы и определить скорость движения самосвала на данном уклоне.

Аналогично определяется скорость самосвала при движении на спуск, но уже по тормозной характеристике.

При использовании американской методики для расчета скорости карьерного самосвала в горных условиях применяется показатель сопротивления качению. Этот показатель определяется как сила, необходимая для поддержания постоянной скорости транспортного средства на уровне земли, и зависит от различных факторов, таких как полная масса транспортного средства, его ходовые характеристики, а также состояние шин и дорожного покрытия.

Характеристики дорожного покрытия выражаются коэффициентом сопротивления качению. Эмпирические оценки сопротивления качению основаны на проникновении шины, и исследования показывают, что увеличение сопротивления качению на 0,6 процента на каждый сантиметр проникновения шины в дорогу обычно приводит к увеличению общего сопротивления от 1,5 до 2 процентов. Расчеты сопротивления качению классифицируются, как показано в Таблице 1.

Таблица 1. Классификация сопротивления качению по состоянию дорожного покрытия

Сопротивление качению (%)	Состояние дорожного покрытия (из несвязанного гравийного материала)
2	Дорога с прочными слоями и твердым, уплотненным покрытием, хорошо построенная и ухоженная, без заметных проколов или прогибов шин.
2–3	Дорога средней прочности, уплотненная, хорошо построенная и регулярно обслуживаемая, с минимальным проникновением или прогибом шин (<25 мм).
3–5	Дорога с слабыми слоями или материалом покрытия, с проникновением или прогибом шин в диапазоне от 25 до 50 мм, с колеями и плохим уходом
5–8	Дорога с слабыми слоями или материалом покрытия, с проникновением или прогибом шин в диапазоне от 50 до 100 мм, с колеями и недостаточным уходом.

Так, среднее значение сопротивления качению дороги в направлении участка нагрузки j определяется следующим образом [2]:

$$\omega_{lj} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (9)$$

При этом общее сопротивление движению описывается как:

$$W_j = \frac{P_{l1}(w_{l1} + i_{l1}) \sum l_{l1} + P_{e1}(w_{e1} + i_{e1}) \sum l_{e1}}{L_1} \quad (10)$$

где: P_{l1} , P_{e1} : масса самосвала в погрузочном и порожнем направлении, тонн;

w_{l1} , w_{e1} : сопротивление качению дороги в направлении нагрузки и порожняка, Н/кН;

l_{l1} , l_{e1} : длина дороги в грузовом и порожнем направлении, км;

i_{l1} , i_{e1} : уклон дороги в сторону груза и порожняка, ‰;

L_1 : общая протяжённость дороги, м.

Для обеспечения максимальной эффективности работы карьерного самосвала при росте объемов перевозок необходимо разработать методику оптимизации его использования. Это требует проведения научной оценки организационного уровня, условий эксплуатации и качественных характеристик. Без такого анализа невозможно достичь оптимальной производительности самосвала.

Коэффициенту аэродинамического сопротивления представляет собой один основных факторов, который определяет, как легко объект движется сквозь воздух. Коэффициент лобового сопротивления (C_d) рассчитывается по следующей формуле:

$$C_d = D / (A \cdot r \cdot V/2) \quad (11)$$

Где D – это сопротивление,
 A – площадь,
 ρ – плотность,
 V – скорость.

Таким образом, при расчете скорости транспортного средства с учетом коэффициента аэродинамического сопротивления учитываются не только другие факторы, такие как сила тяги и масса транспортного средства, но и сопротивление, вызванное движением через воздух.

В Китайской методике расчета скорости карьерного транспорта основное внимание уделяется показателю энергетических затрат с учетом аналогичных принципов, применяемых в американской системе.

Расчёт скорости с учётом энергетических факторов, также может быть определен исходя из энергетических затрат на движение. Для этого может использоваться формула:

$$V = \sqrt{\frac{2 * P}{m * C_d * A}} \quad (12)$$

Где,
 P - мощность двигателя (в ваттах).
 m - масса самосвала (в килограммах).
 C_d - коэффициент аэродинамического сопротивления.
 A - площадь поперечного сечения самосвала (в квадратных метрах).

Из представленных методик определения скорости передвижения карьерного самосвала по горным выработкам видно, что как отечественные, так и зарубежные подходы включают разнообразные аспекты, включая сопротивление качению, аэродинамическое сопротивление, и уклон дороги. Однако, существуют различия в подходах и методах расчета.

Отечественные методики, представленные российской и белорусской, акцентируют внимание на сопротивлении качению, уклоне и учитывают разнообразные типы дорожного покрытия и назначения дороги. Расчет скорости основывается на анализе сил сопротивления и определении оптимального режима движения в зависимости от характеристик машины и дороги.

Зарубежные методики, такие как американская и китайская, также учитывают сопротивление качению и аэродинамическое сопротивление, но могут применять различные подходы к расчетам. Например, американский подход базируется на эмпирических оценках сопротивления качению, в то время как китайский метод определения скорости карьерного транспорта фокусируется на энергетических затратах с использованием аналогии с американской системой.

Вывод: Каждая методика имеет свои особенности и уникальные подходы к определению скорости карьерного самосвала, однако все они направлены на обеспечение оптимального режима движения с учетом

различных факторов, таких как дорожные условия, технические характеристики самосвала и эффективность перевозок.

Список литературы ЖЕЛАТЕЛЬНО ДОБАВИТЬ

1. Карьерный автотранспорт / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров и др. СПб.: Наука, 2004. 429 с.

2. Enkhchuluun, B., Batgerel, B., Ping, C. Cycle Time Analysis of Open Pit Mining Dump Trucks [Электронный ресурс] // International Journal of Geosciences. 2023. Vol. 14, No. 8. Pp. 689-709. DOI: 10.4236/ijg.2023.148037. Режим доступа: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=127023>.