

УДК 622.684

К ВОПРОСУ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

ПУРЭВТОГТОХ БАЛДАНГИЙН

Одной из главных задач при расчете карьерного автомобильного транспорта является определение скоростей движения автосамосвалов на трассе. Известные методы определения скоростей движения автосамосвалов не дают достаточно точных результатов при проектировании новых карьеров и планировании горных работ на действующих карьерах.^х Для разработки общего метода расчета скоростей движения автосамосвалов, который можно использовать в любых конкретных условиях эксплуатации и на любых стадиях проектирования и планирования, необходимо опираться на особенности физического процесса их движения, которые описываются уравнением движения автомобиля. Из-за сложности практического применения формул определения скоростей, выведенной из уравнения движения, различные попытки выхода из такого положения ограничивались только графоаналитическим методом.

В настоящее время применение современных ЭВМ в практических расчетах позволяет, используя уравнение движения автомобиля, определять скорости его движения не только по участкам, но и на достаточно коротких отрезках участков трассы. Одновременно возникает возможность приближения самого уравнения к физической его сущности.

Уравнение движения автомобиля имеет вид

$$F_k = \sum W = W_0 + W_i + W_b + W_j + W_R, \quad (I)$$

где $\sum W$ - суммарное сопротивление движению автомобиля, Н; W_0 - основное сопротивление, Н; W_i - сопротивление от уклона, Н; W_b - сопротивление от ветра, Н; W_j - сопротивление от сил инерции, Н; W_R - сопротивление на повороте, Н; F_k - касательная сила тяги автомобиля, Н.

Касательная сила тяги автомобиля обычно ограничивается силой сцепления ведущих колес автомобиля с дорожным покрытием:

$$F_k \leq 10^3 \rho_{\text{ц}} \phi, \quad (2)$$

^х Казарез А.Н., Кулешов А.А. Эксплуатация карьерных автосамосвалов с электромеханической трансмиссией. М.: Недра, 1987.

где $P_{\text{сц}}$ — сцепной вес автомобиля, кН; ϕ — коэффициент сцепления ведущих колес с дорожным покрытием.

При движении автомобиля по сухой дороге на подъем касательная сила тяги может ограничиваться мощностью двигателя:

$$F_K \leq \frac{3600N}{v_a} \eta_{\text{см}} \eta_T \eta_K, \quad (3)$$

где N — мощность двигателя, кВт; $\eta_{\text{см}}$ — коэффициент, учитывающий отбор мощности на вспомогательные механизмы автосамосвала; η_T — КПД трансмиссии; η_K — КПД колеса; v_a — скорость движения автомобиля, км/ч.

Из всех сил сопротивления только два вида — от ветра и от сил инерции — зависят от скорости движения самого автомобиля. остальные виды можно считать постоянными в заданных условиях по отношению к скорости, их определяют по известным формулам.^x

Сопротивление от ветра определяется по эмпирической формуле

$$W_B = \lambda_{\text{об}} F_L (v_a + v_B)^2, \quad (4)$$

где $\lambda_{\text{об}}$ — коэффициент обтекаемости автомобиля; F_L — площадь лобовой поверхности автомобиля; v_B — скорость ветра или параллельной направлению движения автомобиля составляющей скорости ветра, км/ч; v_a — скорость движения автомобиля в данный момент, км/ч.

Сопротивление от сил инерции

$$W_j = \frac{10^3 P \gamma_{\text{и}}}{g} \frac{dv}{dt}, \quad (5)$$

где P — полный вес автомобиля, кН; $\gamma_{\text{и}}$ — коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс, для самосвалов с электромеханической трансмиссией $\gamma_{\text{и}} = 1,1-1,15$; g — ускорение свободного падения, м/с².

Подставляя формулы (2)–(5) в выражение (1), после простого математического превращения получим дифференциальные уравнения:

$$\text{при } F_N < F_C \\ \frac{dv}{dt} = \frac{\left[\frac{3600N}{v} \eta_{\text{ом}} \eta_T \eta_K - W_C - W_i - W_R - \lambda_{\text{с}} F_L (v + v_B)^2 \right] g}{10^3 P \gamma_{\text{с}}} = f_1(v, t); \quad (6)$$

$$\text{при } F_N > F_C \\ \frac{dv}{dt} = \frac{\left[10^3 P_{\text{сц}} \phi - W_C - W_i - W_R - \lambda_{\text{с}} F_L (v + v_B)^2 \right] g}{10^3 P \gamma_{\text{с}}} = f_2(v, t). \quad (7)$$

Эти обыкновенные дифференциальные уравнения можно решить при помощи формулы Эйлера. Искомая величина скорости за достаточно короткий интервал времени:

^x Дьяков В.А. Транспортные машины и комплексы открытых разработок. М.: Недра, 1986.

$$\begin{aligned} v_{i+1} &= v_i + \Delta t f_1(v_i, t) & \text{при } F_N < F_c, \\ v_{i+1} &= v_i + \Delta t f_2(v_i, t) & \text{при } F_N > F_c \end{aligned} \quad (8)$$

При известных начальных условиях ($v = 0$, $t = 0$, $L = 0$) формулы (8) дают возможность разработать математическую модель движения автомобиля и определить скорости его движения по отрезкам длиной $\Delta L = \Delta t v_{i+1}$. Для получения достаточно точных результатов необходимо иметь достоверные значения сопротивления движению автомобиля для каждого изменяющегося отрезка или участка трассы, проверить и ограничить скорости по условию торможения на спуске и заноса на криволинейных участках дороги.