

## РАСЧЕТ АВАРИЙНОГО ТОРМОЖЕНИЯ НАКЛОННОГО ШАХТНОГО ПРОХОДЧЕСКОГО ПОДЪЕМНИКА

Алферова Ю.С., Боос И. Ю.

Научный руководитель канд.техн. наук Калиновская Т.Г.

*Сибирский федеральный университет*

Скипы для наклонных стволов подразделяются на опрокидные, с откидной задней стенкой и с донной разгрузкой, оснащены колёсами и передвигаются по рельсовой колее, применяются в стволах с углом наклона 25-70°. Опрокидной скип для наклонных стволов состоит из кузова, поворачивающегося на оси относительно рамы с двумя парами колёс. На месте разгрузки передние колеса скипа катятся по изогнутым рельсам той же колеи, а задние продолжают движение по прямым вспомогательным..

В практике эксплуатации шахтных подъёмных установок максимальная скорость движения сосудов бывает ограничена. В момент времени, когда скорость подъемника достигает некоторого критического значения  $v_0$ , происходит срабатывание тормозного устройства и включается режим аварийного торможения.

Рассмотрим торможение наклонного шахтного подъемника (скипа). Скип движется вниз под углом к горизонту, при этом тормозящая сила возрастает пропорционально пройденному полком пути. Определим время аварийное торможения до остановки скипа и пройденный за это время путь  $s$ .

Если представить скип как материальную точку массой  $m$ , то расчет аварийного торможения может быть произведен методом решения второй задачи динамики материальной точки (методом последовательного интегрирования),

Направим ось  $x$  вдоль траектории движения центра масс скипа (рис. 1). В процессе торможения на полк действуют сила тяжести  $mg$ , нормальная реакция  $F_n$  опорной поверхности и сила торможения  $F$ , направленная противоположно вектору скорости полка.

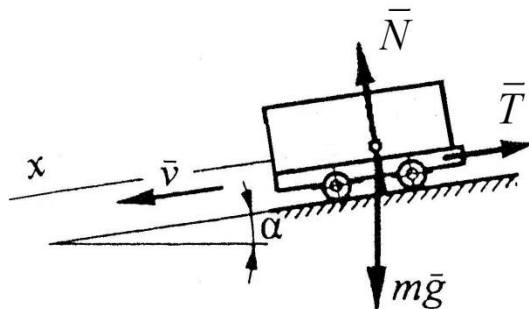


Рисунок 1 - Схема движения скипа при торможении

Изменение силы  $F$  в процессе торможения происходит по закону

$$F = F_0 + kx, \quad (1)$$

где  $F_0$  – начальное значение тормозящей силы;  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $x$  – путь, пройденный полком с момента начала торможения.

Дифференциальное уравнение движения скипа имеет вид:

$$m\ddot{x} = mg \sin \alpha - F, \quad \text{или} \quad m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - F_0 - kx$$

С целью получения уравнения с двумя переменными преобразуем его левую часть:

$$m \frac{dv}{dt} = m \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = m \frac{dx}{dt} \frac{dv}{dx} = mv \frac{dv}{dx}.$$

В правой части уравнения введем постоянную величину  $R = F_0 - mg \sin \alpha$ . После разделения переменных  $v$  и  $x$  уравнение примет вид

$$m v dv = -(R + kx)dx, \quad (2)$$

Интегрируя его в пределах:  $v_0 \geq v \geq 0; 0 \leq x \leq s$ , получаем

$$ks^2 + 2Rs - mv_0^2 = 0.$$

Учитывая, что в физическом смысле  $s$  – длина пути скипа, т.е.  $s > 0$ , получаем решение квадратного уравнения, представляющее собой выражение для расчета расстояния, проходимого скипом до остановки в режиме аварийного торможения

$$s = \frac{\sqrt{R^2 + kmv_0^2} - R}{k} \quad (3)$$

Для определения времени торможения найдем зависимость скорости  $v$  полка от его координаты  $x$ , проинтегрировав уравнение (2):

$$\frac{m}{2}(v^2 - v_0^2) = -\left(Rx + \frac{kx^2}{2}\right),$$

Откуда, выбирая только положительные значения корня, находим

$$v = \sqrt{v_0^2 - \frac{2Rx}{m} - \frac{k}{m}x^2}.$$

Представляем скорость как  $v = dx/dt$  и интегрируем полученное выражение в пределах  $0 \leq x \leq s, 0 \leq t \leq T$ . Получаем

$$T = \sqrt{\frac{m}{k}} \left( \arcsin \frac{ks + R}{\sqrt{R^2 + kmv_0^2}} - \arcsin \frac{R}{\sqrt{R^2 + kmv_0^2}} \right).$$

Из формулы (3) видно, что  $ks + R = \sqrt{R^2 + kmv_0^2}$ . Проведем преобразования, учитывая, что  $\arcsin 1 = \pi/2$ , а также, что  $\pi/2 - \arcsin u = \arctg(\sqrt{1-u^2}/u)$ ,

получаем выражение для расчета времени аварийного торможения подъемника

$$T = \sqrt{\frac{m}{k}} \arctg \frac{v_0 \sqrt{mk}}{R}. \quad (4)$$

Выражения (1), (2), (3) позволяют решать различные прикладные задачи, связанные например, с определением силы натяжения или проверки прочности транспортирующего каната

Правильное представление о динамических процессах, происходящих во время торможения подъемной машины, дает возможность более обоснованно подходить к проектированию, наладке и эксплуатации наклонных установок. Знание этих процессов также необходимо при создании тормозных устройств, автоматически поддерживающих замедление машины в заданных пределах.