

УДК 622.272

С.И. Протасов, С.В. Черданцев, С.Л. Баранов

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА КАРЬЕРНЫХ ДОРОГАХ С ПОМОЩЬЮ ОТРАБОТАННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК

Безопасность эксплуатации карьерного автомобильного транспорта в значительной степени зависит от состояния карьерных дорог. Наибольшие проблемы испытывают при организации движения карьерных самосвалов в условиях сильнопересеченной местности, когда значительная часть трассы имеет затяжные подъемы и спуски, расположена на склонах крутизной более 1:3. Сооружение в таких условиях ограждений (направляющих, отклоняющих конструкций) из железобетона, металлопрофиля или сигнальных столбиков согласно рекомендациям СНиП 2.05-91* [1] дорого и затрудняет очистку дорожного полотна от снега в зимних условиях. Аналогичные проблемы и при сооружении ориентирующего грунтового вала, который не только затрудняет очистку дороги от снега, но и способствует перемертвению дороги зимой.

ской системы автомобиль-ограждение, поэтому представим ограждение пружиной, коэффициент жесткости которой c (рис. 1).

Для решения поставленной задачи воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии механической системы [2]

$$T_1 - T_0 = \sum A_k^{(e)} + \sum A_k^{(i)}, \quad (1)$$

где T_0, T_1 – кинетическая энергия автомобиля соответственно до и после столкновения с ограждением, $\sum A_k^{(e)}$ и $\sum A_k^{(i)}$ – сумма работ соответственно внешних и внутренних сил, находящихся в системе автомобиль-ограждение.

Будем полагать автомобиль недеформируемым телом, которое в результате столкновения с ограждением остановится, поэтому

$$T_1 = 0, \quad \sum A_k^{(i)} = 0. \quad (2)$$

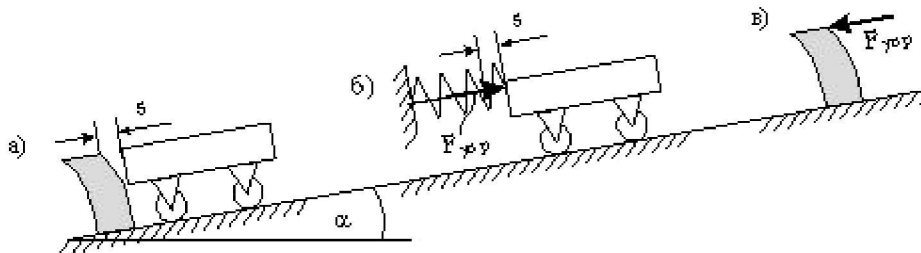


Рис. 1. К определению силы упругого взаимодействия автомобиля с ограждением

Учитывая это в 1997 году при реконструкции технологической автодороги для перевозки угля с разреза «Калтанский» на Южно-Кузбасскую ГРЭС НФ «КУЗБАСС-НИИОГР» было предложено устанавливать на наиболее опасных участках дороги, расположенных на склонах местности крутизной более 1:3 и высотой насыпи более 2 м, отработанные шины большегрузных карьерных самосвалов.

С целью определения необходимой величины заглубления шин была решена задача для следующих условий. Грузный автомобиль в результате заноса на трассе сталкивается с ограждением в виде автомобильной покрышки¹. Требуется определить скорость v_0 автомобиля, превышении которой произойдет выворачивание ограждения из грунта.

Автомобильная покрышка (шина), на наш взгляд, является упругим элементом механиче-

Кинетическая энергия T_0 состоит из энергии поступательного движения корпуса автомобиля и энергии его колес, совершающих плоскопараллельное движение [2]

$$T_0 = \left(\frac{1}{2} m_1 + 3m_2 \right) v_0^2, \quad (3)$$

где m_1 – масса груженого автомобиля без учета массы колес; m_2 – масса одного колеса автомобиля; v_0 – скорость автомобиля до столкновения с ограждением.

Работа внешних сил может быть определена по формуле [2]

$$\sum A_k^{(e)} = (m_1 + 4m_2) \left(\sin \alpha - \frac{\delta \cos \alpha}{r_n} \right) g s_1 - \frac{1}{2} c s_1^2 \quad (4)$$

в которой α – угол подъема (наклона) трассы; δ – коэффициент трения качения колес; r_n – радиус колеса; s_1 – путь автомобиля за промежуток времени от момента столкновения с ограждением

¹ Будем рассматривать только лобовое столкновение, при котором скорость автомобиля нормальна боковой поверхности покрышки.

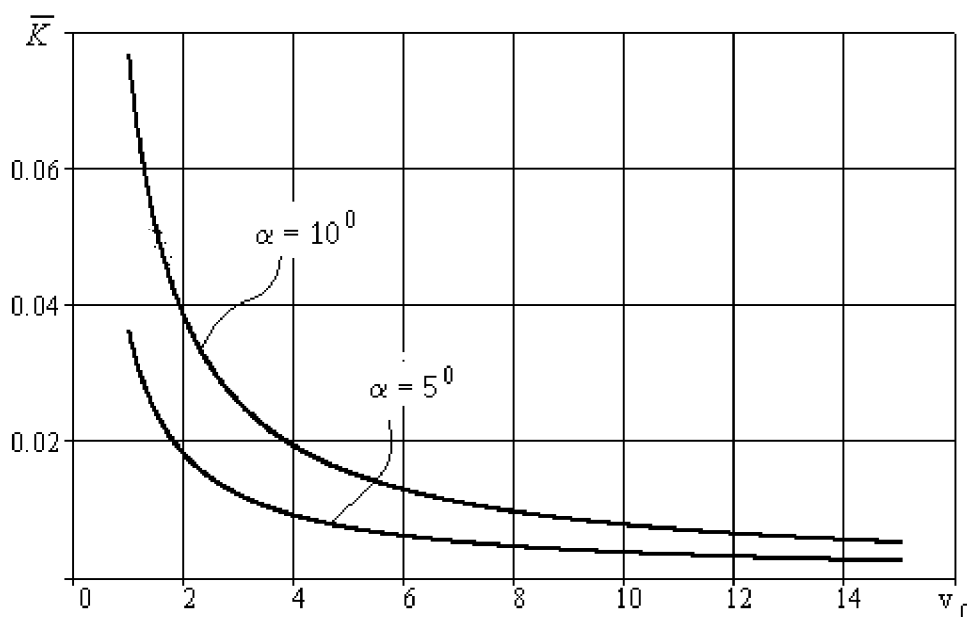


Рис. 2. Зависимость параметра \bar{K} от скорости автомобиля при различных углах α

до остановки; c – коэффициент жесткости ограждения.

В силу выражений(2-4), уравнение (1) представляется в виде

$$\left(\frac{1}{2}m_1 + 3m_2\right)v_0^2 = -(m_1 + 4m_2)\left(\sin\alpha - \frac{\delta \cos\alpha}{r_n}\right)gs_1 + \frac{1}{2}cs_1^2. \quad (5)$$

Для определения коэффициента жесткости, входящего в уравнение (5) был поставлен следующий эксперимент. На вкопанную на горизонтальном ($\alpha = 0$) шероховатом ($\delta = 0,01 r_n$) участке покрышку $r_n = 1,75$ м, являющуюся преградой наезжал порожний автомобиль $m_n = 40,2 \cdot 10^3$ кг, $m_2 = 700$ кг со скоростью $v_0 = 14$ км/час, в результате чего верхняя точка преграды переместилась на величину $s_0 = 0,14$ м.

Используя формулу (5), вычисляем коэффициент жесткости ограждения

$$c = \frac{(m_n + 6m_2)v_0^2 - 2(m_n + 4m_2)gs_0 \frac{\delta}{r_n}}{s_0^2} = 34,15 \cdot 10^3 \frac{\text{кН}}{\text{м}}, \quad (6)$$

зная который определяем силу упругости, действующую со стороны ограждения на автомобиль

$$F_{\text{упр}} = cs_1, \quad (7)$$

где перемещение s_1 определяется из уравнения, вытекающего из (5),

$$cs_1^2 - 2(m_1 + 4m_2) \times \left(\sin\alpha - \frac{\delta \cos\alpha}{r_n}\right)gs_1 - (m_1 + 6m_2)v_0^2 = 0$$

в виде

$$s_{1,2} = \left\{ \Delta \pm \sqrt{\Delta^2 + c(m_1 + 6m_2)v_0^2} \right\} / c, \quad (8)$$

где

$$\Delta = (m_1 + 4m_2) \times \left(\sin\alpha - \frac{\delta \cos\alpha}{r_n} \right) g.$$

Обратим внимание, что физический смысл имеет лишь положительный корень s_1 . Второй (отрицательный) корень означает, что перемещение s_2 происходит, не по направлению автомобиля (см. рис. 1), а противоположно ему. Поэтому силу упругости, на основании формул (7) и (8), определяем как

$$F_{\text{упр}} = \Delta + \sqrt{\Delta^2 g^2 + c(m_1 + 6m_2)v_0^2}. \quad (9)$$

Преобразуем формулу (9) к виду

$$F_{\text{упр}} = F_{\text{упр}}^{(0)} \left(\bar{K} + \sqrt{\bar{K}^2 + 1} \right), \quad (10)$$

где

$$F_{\text{упр}}^{(0)} = v_0 \sqrt{c(m_1 + 6m_2)},$$

$$\bar{K} = \frac{(m_1 + 4m_2) \left(\sin\alpha - \frac{\delta \cos\alpha}{r_n} \right) g}{v_0 \sqrt{c(m_1 + 6m_2)}}. \quad (11)$$

На наш взгляд, можно пренебречь параметром \bar{K} по сравнению с единицей. В самом деле, при скорости автомобиля $v_0 = 1$ м/с ($\alpha = 10^\circ$) параметр $\bar{K} = 0,077$, что вносит в вычисления погрешность 7,7 %. Еще более уместным представляется пренебречь \bar{K}^2 по сравнению с единицей, поскольку погрешность от этого составляет всего 0,59 %.

Отметим, что с ростом скорости автомобиля и с уменьшением угла α параметр \bar{K} уменьшается,

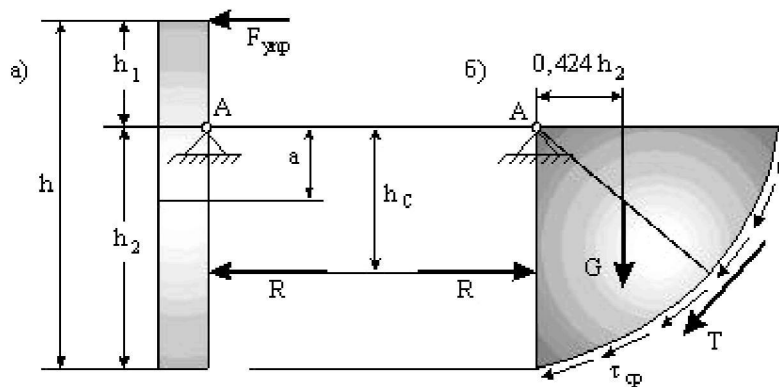


Рис. 3. К составлению условия равновесия ограждения

что отражено на графике (см. рис. 2). Так при скорости $v_0 = 15 \text{ м/с}$ ($\alpha = 10^\circ$) $\bar{K} = 5,136 \cdot 10^{-3}$.

В связи со сказанным, формула (10) упрощается и приобретает вид

$$F_{\text{упр}} = v_0 \sqrt{c(m_1 + 6m_2)}. \quad (12)$$

Будем полагать, что ограждение выполняет свои функции лишь в том случае, если не произойдет его выворачивания из грунта. Это условие, очевидно, сводится (рис. 3, а) к выполнению уравнения равновесия

$$\sum m_A = 0 \Rightarrow F_{\text{упр}} h_1 - R h_c = 0, \quad (13)$$

где R – сила, действующая со стороны грунта на ограждение, h_c – координата точки ее приложения.

Для равновесия выворачиваемой части грунта (рис. 2, б) необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\sum m_A = 0 \Rightarrow R h_c - G 0,424 h_2 - T h_2 = 0 \quad (14)$$

Исключим из уравнений (13) и (14) силу R , для чего сложим эти уравнения. Полученное уравнение

$$F_{\text{упр}} h_1 - (0,424G + T)h_2 = 0$$

упрощается (если учесть, что шина заглубляется в грунт на $h_2 = 2/3 h$), (рис. 3, а) и приводится к виду

$$F_{\text{упр}} - 2(0,424G + T) = 0. \quad (15)$$

Уравнение (15) кроме силы упругости $F_{\text{упр}}$, определяемой по формуле (12), содержит вес выворачиваемой части грунта G , и силу T , препятствующую этому выворачиванию. Вес грунта G определяем по формуле

$$G = V_n \gamma, \quad (16)$$

в которой V_n – объем грунта, а силу T определяем следующим образом

$$T = \tau_{cp} S_{\text{nob}}, \quad (17)$$

где τ_{cp} – касательные напряжения, распределенные по поверхности обнажения грунта, размер которой S_{nob} .

Будем полагать, что выворачивание грунта происходит по круговой поверхности (рис. 4, б).

Уравнение окружности имеет вид [3]

$$x^2 + (y - a)^2 = r_n^2, \quad (18)$$

поэтому

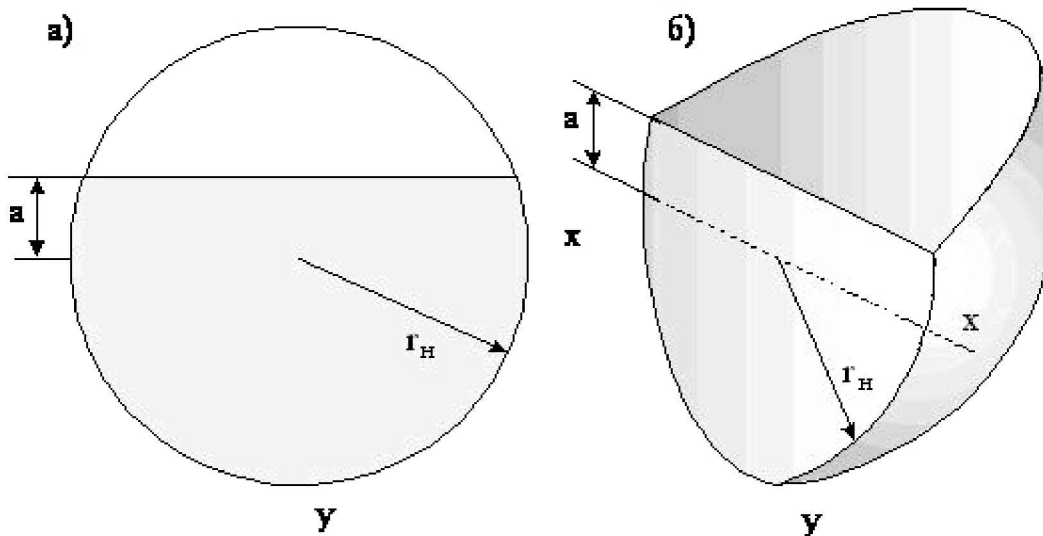


Рис. 4. К определению объема и поверхности выворачиваемого грунта

$$y = \pm \sqrt{r_n^2 - x^2} + a. \quad (19)$$

Дифференцируя (18), имеем

$$2x + 2(y - a)y' = 0,$$

откуда

$$y' = -\frac{x}{y - a} \Rightarrow y'^2 = \frac{x^2}{(y - a)^2}. \quad (20)$$

Площадь поверхности, как известно, определяется по формуле [3]

$$S_{nob} = \frac{\pi}{2} \int_{-r_n}^{r_n} y \sqrt{1 + y'^2} dx,$$

которая в силу (19) и (20), преобразуется следующим образом

$$\begin{aligned} S_{nob} &= \frac{\pi}{2} \int_{-r_n}^{r_n} (\sqrt{r_n^2 - x^2} + a) \sqrt{1 + \frac{x^2}{(y - a)^2}} dx = \\ &= \frac{\pi}{2} \int_{-r_n}^{r_n} (\sqrt{r_n^2 - x^2} + a) \sqrt{1 + \frac{x^2}{r_n^2 - x^2}} dx \end{aligned}$$

и приводится к виду

$$S_{nob} = \frac{\pi}{2} \int_{-r_n}^{r_n} \left(r_n + \frac{r_n a}{\sqrt{r_n^2 - x^2}} \right) dx. \quad (21)$$

Интегрируя (21), имеем

$$S_{nob} = \frac{1}{2} \pi r_n^2 (2 + \pi \eta), \quad (22)$$

где η определяется как

$$\eta = \frac{a}{r_n} = \frac{r_n - h_1}{r_n} = \frac{1}{3}. \quad (23)$$

Объем выворачиваемой почвы вычислим по формуле [3]

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{1}{4} \int_{-r_n}^{r_n} S(x) dx = \\ &= \frac{1}{4} \int_{-r_n}^{r_n} \pi y^2 dx = \frac{1}{4} \int_{-r_n}^{r_n} \pi (\sqrt{r_n^2 - x^2} + a)^2 dx \end{aligned}$$

интегрируя которую, получаем

$$V_n = \frac{1}{3} \pi r_n^3 \left(1 + \frac{3}{4} \pi \eta + \frac{3}{2} \eta^2 \right).$$

Используя уравнение (15) и формулы (12), (16), (17), (22), (24) получаем скорость автомобиля

$$v_0 = \frac{\pi r_n^2 [0,283(1 + 0,75\pi\eta + 1,5\eta^2)r_n\gamma + (2 + \pi\eta)\tau_{cp}]}{\sqrt{c(m_1 + 6m_2)}} \quad (25)$$

при превышении которой произойдет выворачивание ограждения, что является решением поставленной здесь задачи.

Решение поставленной задачи позволило рекомендовать установку 3808 отработанных шин карьерных самосвалов БелАЗ-7548 на наиболее опасных участках длиной 3980 м (по обочинам дороги либо с одной, либо с двух сторон) вдоль технологической дороги разреза «Калганский» общей длиной около 12 км. Установка заглубленных на 2/3 диаметра колеса шин группами по 3 штуки с разрывами между группами шириной 6-9



Рис. 5. Схема установки отработанных шин на обочине технологической автодороги

м (см. фото на рис. 5) позволила эффективно очищать дорогу от снега.

Нанесение на боковую часть протектора шины светоотражательной краски создало хорошие условия организации движения для водителей в темное время суток, что позволило даже отказаться от электрического освещения некоторых участков дороги. Эксплуатация реконструированной автодороги дала филиалу ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Калтанский угольный разрез» возможность справиться с обеспечением тепло- и энергоснабжения двух городов Осинники и Калтан в сложный период для угольной промышленности Кузбасса период 90-х годов прошлого столетия.

В последние годы Калтанский угольный разрез выполнил дополнительные работы по выполнению трассы автодороги и увеличению ее

ширины, однако, учитывая накопленный положительный опыт и просьбы автомобилистов, сохранил решение по использованию отработанных шин карьерных самосвалов в качестве направляющих устройств вдоль автодороги. Проведенные испытания, расчеты и более чем десятилетний опыт эксплуатации показывают, что использование шин большегрузных самосвалов в качестве ограждения автодорог более эффективно, чем применение конструкций, рекомендованных ранее [1]. Это дает основание рекомендовать опыт применения шин большегрузных самосвалов в качестве ограждения автодорог к широкому внедрению в практику работы разрезов и карьеров страны, а также внесению соответствующих уточнений в СНиП 2.05.07-91*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.05.07-91*. Промышленный транспорт / Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 112с.
2. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Часть II. Динамика. – М.: Высшая школа, 1977. – 430 с.
3. Бермант А.Ф. Краткий курс математического анализа / А.Ф. Бермант, И.Г. Араманович. – М.: Наука, 1966. – 736 с.
4. Терцаги К. Теория механики грунтов (перевод с немецкого). – М.: Госстройиздат, 1961. – 506 с.

□ Авторы статьи:

Протасов
Сергей Иванович
-канд. техн. наук, доц. каф. от-
крытых горных работ КузГТУ,
директор новационной фирмы
«КУЗБАСС-НИИОГР»
Тел. 8 (3842) 52-33-56

Черданцев
Сергей Васильевич
- докт. техн. наук,
проф. каф. строительства подзем-
ных сооружений и шахт КузГТУ-
Тел. 8 (3842) 28-22-05

Баранов
Сергей Липатович
-директор филиала ОАО «УК
«Кузбассразрезуголь»
«Калтанский угольный разрез»
Тел. 8 (3842-71)3-01-08

УДК 622.23.051

Б. А. Катанов

БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ СО ВСТРОЕННЫМИ АМОРТИЗАТОРАМИ

Бурение взрывных скважин является начальным этапом процесса открытой угледобычи во всех случаях, когда вскрыша представлена достаточно крепкими породами. От эффективности буровых работ зависит своевременная и качественная подготовка горной массы к экскавации и транспортированию, а следовательно, и технико-экономические показатели процесса добычи в целом.

Одним из применяемых в настоящее время видов бурового инструмента современных карьерных станков вращательного бурения являются режущие долота, которые снабжаются в качестве породоразрушающих элементов резцами различных типов. Породоразрушающие элементы режущих буровых долот при разрушении породы на забое буримой скважины испытывают переменные по характеру и величине нагрузки с пиками 5-

8 и большей кратности относительно средних. Повышение мощности машин также приводит к увеличению нагрузок, что предъявляет все возрастающие требования к прочности и стойкости буровых долот, особенно их рабочих кромок. При этом необходимо и соответствие формы, размеров и геометрических параметров режущих элементов свойствам разрушаемых пород.

Важным требованием является также простая и надежная установка режущего элемента в исполнительном органе, а также возможность быстрой его замены при износе.

Одним из способов снижения динамических нагрузок на буровой инструмент является использование амортизаторов различных типов, размещенных в буровом инструменте. Так режущие долота со встроенным амортизатором позволяют увеличить долговечность породоразрушающего