

О статической устойчивости горных машин на колесном ходу

Казаченко Г.В., Басалай Г.А., Кремчеев Э.А.
БНТУ, СПГГУ

В горном деле, как и во многих сферах хозяйственной деятельности, технические средства выполнения операций различных технологических процессов в большинстве случаев совершают перемещения в пространстве. Эти движения осуществляются разнообразными механизмами, среди которых чаще всего используются гусеничные и колесные движители. Такие движители применяются как в машинах для выполнения открытых горных работ, так и при подземной добыче полезных ископаемых. Рациональный выбор параметров и режимов работы механизмов, обеспечивающих перемещения горных машин в пространстве, а во многих случаях и подачу исполнительных органов на забой, во многом определяет эффективность их работы.

Для нормальной работы ходового устройства необходимо, чтобы все колеса передавали нагрузку на опорную поверхность. Выполнение этого условия обеспечивается тогда, когда центр давления находится в пределах ядра сечения опорной поверхности. Размеры и форма ядра сечения, как и в случае гусеничных машин, в основном зависит от типа колес (жесткие, упругие) и подвески. Для определения его размеров и формы вычислим экстремальные значения давления по формуле

$$P_{\max}^{\min} = \frac{P_{z0}}{S_0} \pm \left| \frac{M_x}{W_x} \right| \pm \left| \frac{M_y}{W_y} \right|, \quad (1)$$

где P_{z0} – общая нормальная к опорной поверхности нагрузка машины на опорное основание; S_0 – суммарная площадь контакта колес с опорной поверхностью; M_x , M_y – моменты внешних сил относительно соответствующих осей; W_x , W_y – моменты сопротивления опорной площади относительно тех же осей.

Вычислим предварительно значения W_x и W_y для жесткой схемы двухосной машины

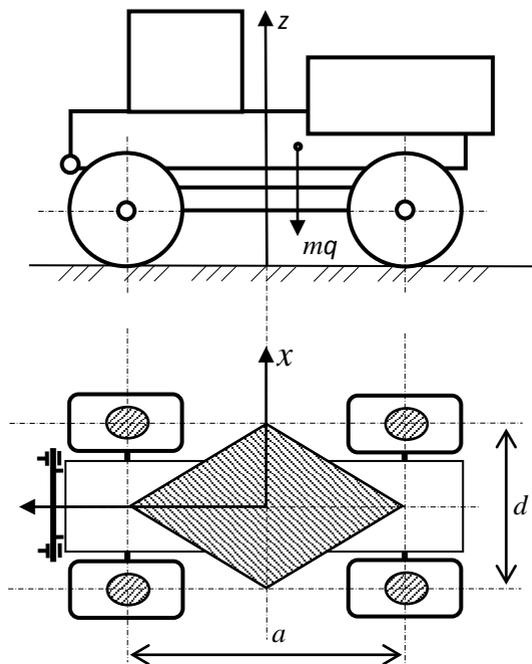


Рис. 1. Ядро сечения двухосной колесной машины

Для равных по площади контактных площадок двухосной машины

$$S_0 = 4 \cdot S_{\kappa}, \quad (2)$$

где S_{κ} – площадь контакта одного колеса.

Моменты сопротивления опорной площади

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}}, \quad W_y = \frac{I_y}{x_{\max}}, \quad (3)$$

где I_x , I_y – моменты инерции опорной площади относительно соответствующих осей;

x_{\max} , y_{\max} – максимальные значения координат контактных площадок.

Моменты инерции, учитывая малость контактных площадок колес по сравнению с общими размерами опорной площади ходового устройства, вычисляем по упрощенным формулам

$$I_x = 4 \cdot S_{\kappa} \cdot \frac{a^2}{4}; \quad I_y = 4 \cdot S_{\kappa} \cdot \frac{d^2}{4}, \quad (4)$$

Примем максимальные значения координат опорной площади $y_{\max} = a/2$, $x_{\max} = d/2$. Тогда

$$W_x = 2 \cdot a \cdot S_{\kappa}; \quad W_y = 2 \cdot d \cdot S_{\kappa}, \quad (5)$$

Учитывая, что $|M_x| = |P_{z0} \cdot y_{\partial}|$, $|M_y| = |P_{z0} \cdot x_{\partial}|$ и подставив эти значения, а также значения W_x и W_y в (1) и принимая во внимание то, что на границе ядра сечения $p_{\min} = 0$, имеем

$$0 = \frac{P_{z0}}{4 \cdot S_{\kappa}} - \frac{|P_{z0} \cdot y_{\partial M}|}{|2 \cdot a \cdot S_{\kappa}|} - \frac{|P_{z0} \cdot x_{\partial M}|}{|2 \cdot d \cdot S_{\kappa}|}, \quad (6)$$

или

$$0 = \frac{1}{2} - \frac{|y_{\partial M}|}{a} - \frac{|x_{\partial M}|}{d}, \quad (7)$$

где $x_{\partial M}$, $y_{\partial M}$ – координаты границ ядра сечения.

Как и в случае двухгусеничной машины [1] с жесткой подвеской соотношение (10) указывает на то, что контур ядра сечения жесткой двухосной машины ограничен прямыми линиями. Ядро сечения представляет собой ромб с диагоналями, равными d и a (Рис. 1). Колесные машины на пневматических шинах и с упругой подвеской колес имеют ядро сечения другой формы и больших размеров. Поэтому допустимое положение центра давления для жестких колесных машин тем более допустимо и для машин на пневматических шинах с упругой подвеской колес.

Применяя формулу (1) для трехосной и четырехосной машин с жесткими колесами и подвеской и повторяя последовательность определения размеров ядра сечения двухосной машины, имеем: - для трехосной машины

$$I_x = \frac{a^2}{4} \cdot 4 \cdot S_K; \quad I_y = \frac{d^2}{4} \cdot 6 \cdot S_K;$$

$$W_x = 2 \cdot a \cdot S_K; \quad W_y = 3 \cdot d \cdot S_K.$$

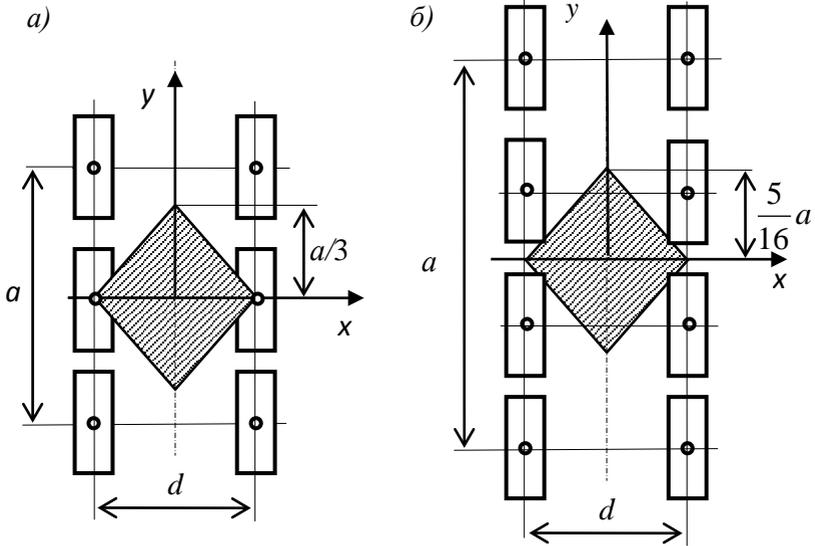


Рис. 2 (а, б). Ядра сечения трехосной (а) и четырехосной (б) машин

Условие равенства нулю минимального значения p

$$0 = \frac{P_{z0}}{6 \cdot S_K} \pm \frac{P_{z0} \cdot y_{\partial M}}{2 \cdot a \cdot S_K} \pm \frac{P_{z0} \cdot x_{\partial M}}{3 \cdot d \cdot S_K},$$

или

$$\frac{1}{3} = \frac{y_{\partial M}}{a} + \frac{2 \cdot x_{\partial M}}{3 \cdot d},$$

откуда $x_{\partial \max} = \pm d/2; \quad y_{\partial \max} = \pm a/3.$ (8)

- для четырехосной машины

$$I_x = 4 \cdot \frac{a^4}{4} \cdot S_K + 4 \cdot \frac{a^2}{16} \cdot S_K = a^2 \cdot S_K \cdot \left(1 + \frac{1}{4}\right) = \frac{5}{4} \cdot a^2 \cdot S_K;$$

$$I_y = 8 \cdot \frac{d^2}{4} \cdot S_K = 2 \cdot d^2 \cdot S_K;$$

$$W_x = \frac{5}{2} \cdot a \cdot S_K; \quad W_y = 4 \cdot d \cdot S_K.$$

$$0 = \frac{P_{z0}}{8 \cdot S_K} \pm \frac{2 \cdot P_{z0} \cdot y_{\partial M}}{5 \cdot a \cdot S_K} \pm \frac{P_{z0} \cdot x_{\partial M}}{4 \cdot d \cdot S_K},$$

$$x_{\partial \max} = \pm d/2; \quad y_{\partial \max} = \pm \frac{5}{16} a. \quad (9)$$

Ядра сечений трехосной и четырехосной машин представлены на рис. 2.

Представляет практический интерес определение размеров ядра сечения колесного хода с шарнирным соединением переднего моста с рамой, задний мост к которой крепится жестко (Рис.3).

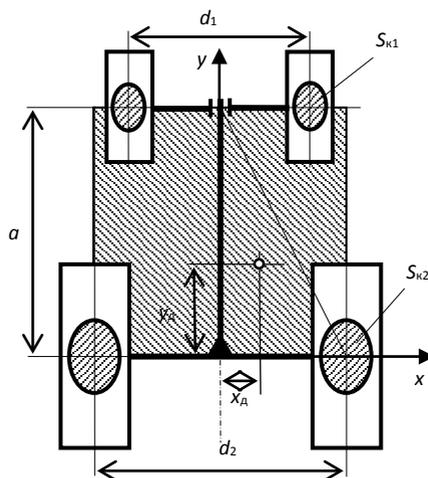


Рис. 3. К определению размеров ядра сечения двухосного колесного движителя с шарнирным соединением переднего моста и рамы.

Так как для колесного хода условие $p_{\min} = 0$ равносильно условию равенства нулю нагрузки на одно из колес, то для определения размеров ядра сечения определим зависимость реакций опорной поверхности на все колеса от координат центра давления.

Суммарные реакции на колеса переднего и заднего мостов

$$R_n = P_{z0} \cdot \frac{y_\partial}{a}; \quad R_z = P_{z0} \cdot \frac{a - y_\partial}{a},$$

где $R_n = R_{nl} + R_{nn}$ - общая реакция грунта на передний мост;

$R_z = R_{zl} + R_{zn}$ - то же на задний мост;

$R_{nl}, R_{zl}, R_{nn}, R_{zn}$, - реакции опорного основания на колеса левого и правого бортов соответственно переднего и заднего мостов.

$$R_{nl} = R_{nn} = P_{z0} \cdot y_\partial / (2 \cdot a);$$

$$R_{zl} = P_{z0} \cdot \frac{a - y_\partial}{a} \cdot \left(\frac{d_2}{2} - x_\partial \right);$$

$$R_{zn} = P_{z0} \cdot \frac{a - y_\partial}{a} \cdot \left(\frac{d_2}{2} + x_\partial \right).$$

Приравняв к нулю эти реакции, убеждаемся, что ядро сечения такого хода – прямоугольник со сторонами d_2 и a , т.е. максимально возможные координаты центра давления для такого колесного хода

$$x_{\partial \max} = \pm d/2; \quad y_{\partial \min} = 0; \quad y_{\partial \max} = a. \quad (10)$$

Таким же способом определяются размеры ядра сечения колесных машин с двигателями других конструкций.

Литература:

1. Опейко Ф.А. Торфяные машины /Ф.А. Опейко.–Минск: Выш.школа, 1968.-408 с.
2. Морев А.Б. Горные машины для калийных рудников / А.Б. Морев, А.Д. Смычник, Г.В. Казаченко. – Минск: Интегралполиграф, 2009. -544 с.