ГОРНАЯ МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ № 4, 2012, 83-87

УДК 629.331

КРЕН ГОРНЫХ МАШИН НА ШАГАЮЩЕМ ХОДУ ВСЛЕДСТВИЕ ДЕФОРМАЦИИ ОПОРНОГО ОСНОВАНИЯ

Казаченко Г.В., Басалай Г.А. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь), Неверовская Я.Б. (ОАО «Белгорхимпром», г. Минск, Беларусь), Ярмолинская А.А. (ОАО «Беларуськалий», г. Солигорск, Беларусь)

Рассмотрена деформация несущего основания под круглой опорной базой горных машин в статическом состоянии. Деформации приняты подчиняющимися закону Гука, то есть пропорциональными давлениям под базой. Получены зависимости для определения угла наклона базы в зависимости от физико-механических свойств грунта и положения центра давления.

Введение

В горнодобывающей промышленности на машинах больших масс и размеров (экскаваторы, отвалообразователи) очень часто используются шагающие механизмы передвижения с основным опорным элементом – базой с днищем в форме круга. Для исследования устойчивости таких машин важное значение имеет характер деформаций опорного основания. Решение задач определения деформаций, даже в случае соблюдения закона Гука, не всегда возможно в конечном виде. Однако в некоторых случаях можно получить приближенные решения. В настоящей статье предпринята попытка найти такие решения в рамках линейной зависимости деформаций опорного основания от давления на него.

Исследование и некоторые результаты

Рассмотрим машину, находящуюся первоначально на горизонтальной опорной поверхности, которая деформируется под действием нагрузок со стороны базы (рисунок 1). Сначала определим среднюю деформацию основания под опорной базой в рамках линейной зависимости между деформациями и давлением. При этом считаем, что модуль упругости базы намного превышает модуль упругости опорного основания и воспользуемся формулами линейной теории упругости, которые успешно использовались профессором Ф.А. Опейко [1] при определении деформаций торфяных залежей под ходовыми устройствами машин для добычи торфа. В основу этих зависимостей была положена формула для вычисления деформации под круглым штампом:

$$h = \frac{1-\nu^2}{2} \cdot \frac{P_z}{E \cdot R_ш}, \tag{1}$$

где P_z – нормальная к опорной поверхности нагрузка со стороны штампа;

$R_ш$ – радиус штампа;

ν – коэффициент Пуассона опорного основания;

E – модуль упругости опорного основания.

Опорные базы машин с шагающими ходовыми механизмами в рабочем положении опираются на несущее полупространство также днищем круговой формы.

ГОРНАЯ МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ № 4, 2012

В реальных условиях сила P_z приложена не в центре опорной площади, что вызывает крен опорной базы вследствие неравномерности распределения давления на опорную поверхность и неравномерность ее деформаций. Для определения угла крена примем, не нарушая общности, что центр давления расположен на продольной оси машины (рисунок 1). Кроме того, угол крена φ считаем малым, так что можно принять $\varphi = tg\varphi$. Для определения $tg\varphi$ используем соотношение:

$$tg\varphi = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{2R}, \tag{2}$$

где $h_{\max}$ и $h_{\min}$ – максимальная и минимальная деформации опорного основания соответственно;

R – радиус опорной базы машины.

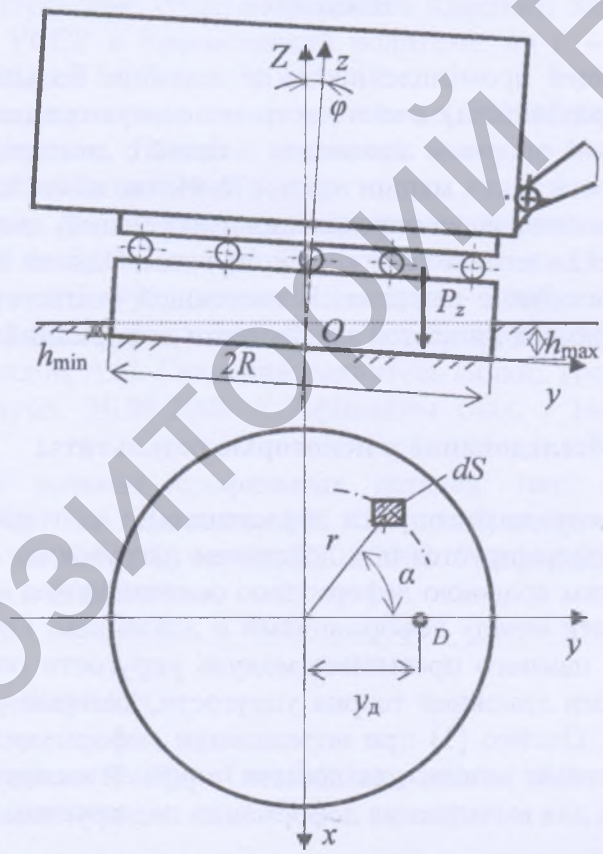

Рисунок 1 – К определению крена машины на шагающем движителе

Максимальную и минимальную деформации опорного основания вычислим, исходя из закона Гука по формулам:

$$h_{\max} = p_{\max}/C_h; \qquad h_{\min} = p_{\min}/C_h, \tag{3}$$

где $p_{\max}$ и $p_{\min}$ – максимальное и минимальное давления базы на опорное основание;

C_h – коэффициент жесткости опорного основания.

Полагая, что $p = h \cdot C_h$, и используя формулу (1) запишем:

$$h = \frac{1-\nu^2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot R^2 \cdot p_c}{E \cdot R}, \tag{4}$$

где $p_c = P_z / \pi \cdot R^2$ – среднее давление базы на опорную площадь.

Тогда

$$C_h = \frac{2E}{\pi \cdot R\left(1-\nu^2\right)}. \tag{5}$$

Учитывая, что в нашем случае ось Oy совпадает с линией наибольшего наклона опорной базы, и приняв во внимание известные соотношения для определения напряжений при сложном изгибе [2], можно записать:

$$p_{\max} = \frac{P_z}{\pi \cdot R^2} + \frac{4P_z \cdot y_д}{\pi \cdot R^3};$$
$$p_{\min} = \frac{P_z}{\pi \cdot R^2} - \frac{4P_z \cdot y_д}{\pi \cdot R^3}, \tag{6}$$

где $y_д$ – координата центра давления.

Эта координата в данном случае равна радиус-вектору центра давления. Считая, что центр давления находится в пределах ядра сечения, т.е. полагая $y_д < r_д = \frac{1}{4} R$ и $p_{\min} > 0$ определим $tg\varphi$. Для этого подставим уравнение (6) в (3) и далее в (2). Тогда

$$tg\varphi = \frac{2\left(1-\nu^2\right)}{E} \cdot \frac{P_z \cdot y_д}{R^3}, \tag{7}$$

или, учитывая малое значение угла крена,

$$\varphi \cong \frac{2\left(1-\nu^2\right)}{E} \cdot \frac{P_z \cdot y_д}{R^3}. \tag{8}$$

К такому же результату можно прийти и несколько другим способом. Вычислим момент сил давления относительно оси Ox. Этот момент при работе базы всей опорной поверхностью:

$$M_x = \int_0^{2\pi} \int_0^R p \cdot dS \cdot r \cdot \cos\alpha, \tag{9}$$

где $dS = dx \cdot dy = r \cdot dr \cdot d\alpha$ – элемент площади;

r – радиус-вектор этого элемента площади;

p – давление на этом элементе.

Полагая как и прежде, деформацию опорного основания пропорциональной давлению и записав $h_т = h + r \cdot \cos\alpha \cdot tg\varphi$, имеем:

$$p = C_h \cdot h_т = C_h\left(h + r \cdot \cos\alpha \cdot tg\varphi\right),$$

$$M_x = \int_0^{2\pi}\int_0^R C_h\left(h + r \cdot \cos\alpha \cdot tg\varphi\right) \cdot r^2 \cdot \cos\alpha \cdot dr d\alpha, \tag{10}$$

где $h_т$ – текущее значение деформации.

Представляя этот интеграл как сумму двух интегралов:

$$M_x = \int_0^{2\pi}\int_0^R C_h \cdot h_т \cdot r^2 \cdot \cos\alpha \cdot tg\varphi \cdot dr d\alpha + \int_0^{2\pi}\int_0^R C_h \cdot r^3 \cdot \cos^2\alpha \cdot tg\varphi \cdot dr d\alpha$$

и учитывая, что первый интеграл равен нулю, имеем:

$$M_x = R^3 \cdot \frac{E}{2\left(1-\nu^2\right)} \cdot tg\varphi. \tag{11}$$

Отсюда находим значение тангенса угла наклона опорной базы:

$$tg\varphi = \frac{2\left(1-\nu^2\right)}{E} \cdot \frac{M_x}{R^3}, \tag{12}$$

что совпадает с (7), так как в этом случае $M_x = P_z \cdot y_ц$.

Формула (13) может служить основой для оценки статической устойчивости отвалообразователя, так как допустимый угол его крена нормируется:

$$arctg\frac{2\left(1-\nu^2\right)}{E} \cdot \frac{M_x}{R^3} < [\varphi], \tag{13}$$

где $[\varphi]$ – допустимое значение угла крена.

Эта зависимость указывает на существенное влияние габарита опорной базы с днищем в форме круга на устойчивость машин с шагающими механизмами перемещения и необходимость поиска новых технических предложений и решений, повышающих эффективность подобных механизмов. В то же время, зависимости (8) и (12) позволяют найти начальное значение крена машин на шагающем движителе с опорной базой цилиндрической формы, но не отвечают на вопрос о его развитии в процессе эксплуатации. Наблюдения за работой шагающих отвалообразователей на Первом рудоуправлении ОАО «Беларуськалий» свидетельствуют о постепенном увеличении его крена в сторону отвальной консоли.

Это говорит о том, что в процессе эксплуатации имеет место значительное колебание нагрузок на опорную базу, а также проявление во времени пластических свойств грунта солеотвала, т. е. имеет место явление, широко известное и описанное в механике грунтов [3] (крен Пизанской башни, оседание зданий и сооружений). Характерная кривая возрастания угла крена во времени представлена на рисунке 3. Эта кривая требует адекватного математического описания и может служить основой для выбора срока прекращения эксплуатации машин на данном опорном основании по условию $\left|[\varphi] - \varphi(t)\right| > \varepsilon$, где ε – критерий возможности эксплуатации.

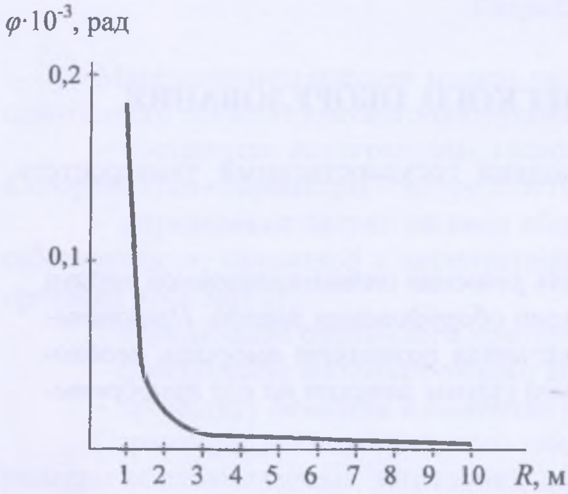

Рисунок 2 – Зависимость угла крена от радиуса опорной базы отвалообразователя

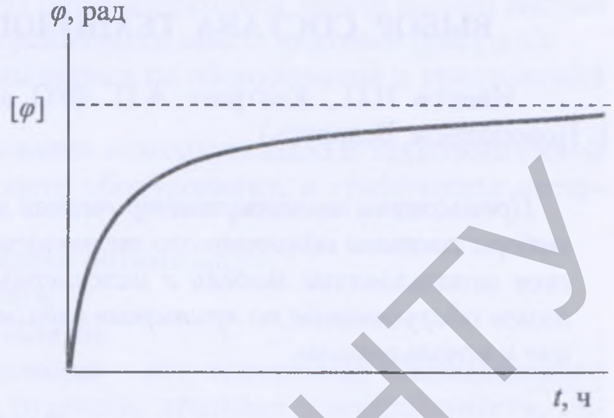

Рисунок 3 – Развитие крена во времени

Заключение

Выполненные исследования и расчеты на их основе показывают, что основные преимущества шагающих механизмов: высокие устойчивость и маневренные качества, которые в определенном смысле противоречат друг другу, нуждаются в более подробном исследовании. Это особенно касается новых технических предложений [4] по усовершенствованию опорной базы отвалообразователей. Наряду с решением задач оценки деформаций опорных оснований в статическом состоянии необходимо учитывать и развитие деформаций основания и крена машин во времени и под действием переменных нагрузок.

Список использованных источников

1. **Опейко, Ф.А.** Торфяные машины / Ф.А. Опейко. – Минск: Вышэйшая школа, 1960. – 408 с.
2. **Рудицын, М.Н.** Справочное пособие по сопротивлению материалов / М.Н. Рудицын, П.Я. Артемьев, М.И. Любошиц. – Минск: Выш. школа, 1979. – 628 с.
3. **Цытович, Н.А.** Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Гос.изд. литер. по стр-ву, арх-ре и строит. материалам, 1963. – 636 с.
4. **Казаченко, Г.В.** Особенности отвалообразователей и некоторые результаты исследования их статической устойчивости / Г.В. Казаченко, Г.А. Басалай, Я.Б. Неверовская, А.А. Ярмолинская // Горная механика и машиностроение. – 2012. – № 3. – С. 75-83.

Kazachenko G.V., Basalay G.A., Neverovskaya Ya.B., Yarmolinskaya A.A.

Roll of draglines owing to floor deformation

Reviewed deformation of the bearing floor under the round dragline's resting base in static condition. The deformations are considered to follow the Hooke's law, i. e. proportional pressures under the base. Obtained relationships for base angle detection depending on mechanical and physical soil properties and centre-of-pressure position.

Поступила в редакцию 26.11.2012 г.