УДК 625.7/8.002

А.Я. Башкарёв, Д.В. Мусияко, В.С. Пешков

ВИБРАЦИОННОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО УПЛОТНИТЕЛЯ

В современной строительной технике широко применяются малогабаритные вибрационные уплотнители — виброплиты, преимущество которых связано с их относительно небольшой массой и возможностью выполнять работы в стесненных условиях.

Как правило, в конструкции таких уплотнителей применяют вибровозбудители ненаправленного действия. При этом эффект самоперемещения уплотнителя по обрабатываемой поверхности возможен лишь при определенном расположении вибровозбудителя относительно центра его массы*. До последнего времени оно находилось опытным путем на экспериментальных образцах. В предлагаемой статье расположение вибровозбудителя относительно центра массы всей системы определяется с помощью математической модели. Одновременно находится условие, при котором одна кромка уплотняющей плиты — всегда в контакте с уплотняемой поверхностью, благодаря чему уплотнитель удерживается от сползания на поперечных уклонах. Обосновывается также возможность создания комбинированной конструкции уплотнителя, объединяющей валец и плиту. Главное преимущество такой конструкции по сравнению с уже известными — облегченное перемещение в нерабочем положении.

Схема сил, действующих на вибрационный уплотнитель, представлена на рис. 1. Здесь обозначены: G — общий вес уплотнителя; m — масса уплотнителя; h, c, b, a — геометрические размеры; F — сила трения со знаком скорости; f — коэффициент трения; P — возбуждающая сила вибратора; R — реакция грунта; α — угол поворота уплотнителя относительно задней кромки A опорной плиты, которая не должна отрываться от уплотняемой поверхности.

Запишем уравнения равновесия сил:

$$\frac{G}{g}\ddot{x} = P_x - Rf\,\mathrm{sgn}\,\dot{x}; \tag{1}$$

$$\frac{G}{g}\ddot{y} = P_y - G + R; \tag{2}$$

$$Y_a\ddot{\alpha} = P_y a - P_x c - Gb - \frac{G}{g}\ddot{y}b + \frac{G}{g}\ddot{x}h. \tag{3}$$

В уравнении (3) момент силы R равен 0, так как она смещена в точку A.

Поскольку при малых углах $\mathrm{tg}\alpha = \alpha$, то $y = (\mathrm{tg}\alpha)b$ превращается в $y = \alpha b$. Тогда

$$\ddot{y} = \ddot{\alpha}b \Rightarrow \ddot{\alpha} = \frac{\ddot{y}}{b};$$

$$Y_a = \frac{G}{g}b^2.$$

Подставив полученные выражения в уравнение (3), получаем

$$\frac{G}{g}b\ddot{y} = P_y a - P_x c - Gb - \frac{G}{g}\ddot{y}b + \frac{G}{g}\ddot{x}h. \tag{4}$$

Преобразуем уравнение (4), подставив в него выражения (1) и (2):

$$b\left(P_y - G + R\right) =$$

$$= P_y a - P_x c - Gb - b(P_y - G + R) + h(P_x - Rf\,\mathrm{sgn}\,\dot{x}). \tag{5}$$

После преобразования выражения (5) выразим R:

$$R = \frac{P_y(a-2b) + P_x(h-c) + Gb}{2b + fh\,\mathrm{sgn}\,\dot{x}}. \tag{6}$$

* **Блехман, И.И.** Вибрационное перемещение [Текст] / И.И. Блехман, Г.И. Джанелидзе.— Л.: Машиностроение, 1966.

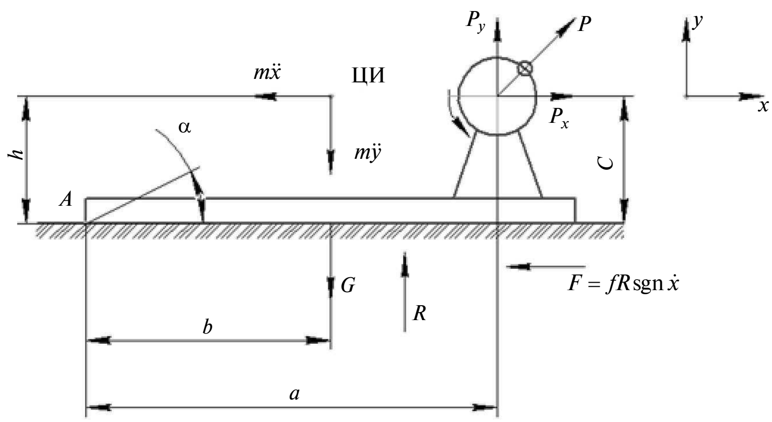

Рис. 1. Схема сил, действующих на вибрационный уплотнитель

Добиваемся того, чтобы реакция R всегда была положительной, т. е. чтобы отрыва кромки в точке A не происходило.

Зададимся следующим условием: пусть $a = 2b$, тогда

$$R = \frac{P_x(h-c)+Gb}{2b + fh\,\mathrm{sgn}\,\dot{x}}. \quad (7)$$

Знаменатель всегда положителен, поскольку $2b$ всегда больше hf.

Чтобы величина R в формуле (7) была всегда положительной, необходимо выполнение следующего условия:

$$P_x(h-c)+Gb > 0.$$

Таким образом, условие, при котором отрыва поверхности виброуплотнителя от поверхности грунта происходить не будет, следующее:

$$P_x < \frac{Gb}{c-h};$$

$$P_x^{\max} < \frac{Gb}{c-h};$$

$$P < \frac{Gb}{c-h}. \quad (8)$$

Рассмотрим конструкцию виброуплотнителя, у которого задняя кромка плиты выполнена в виде вальца. При перемещении виброуплотнителя в нерабочем состоянии валец помогает достаточно легко перекатывать его с одного места на другое. Кроме того, при такой конструкции вся уплотняющая поверхность отрывается от уплотняемой поверхности, т. е. работает в более эффективном режиме вибротрамбования. Схема такой конструкции изображена на рис. 2. Здесь обозначены: G_1 — вес вальца; G_2 — вес

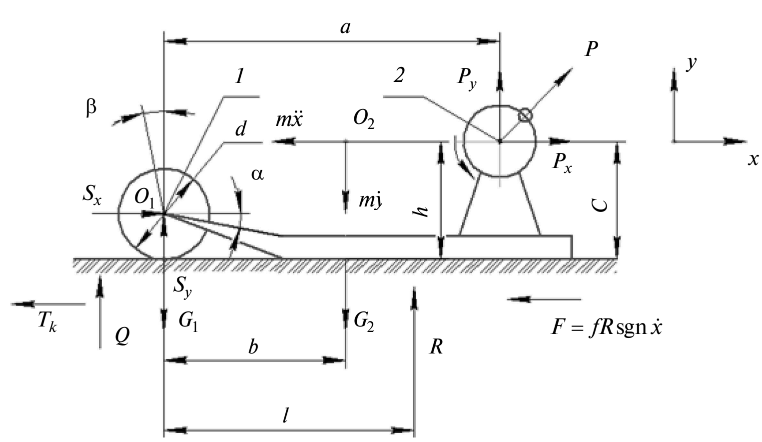

Рис. 2. Схема сил, действующих на вибрационный уплотнитель
с задней кромкой в виде вальца

вибрирующей рамы с вибратором; O_1 — центр вальца; O_2 — центр инерции системы вибратора; O_3 — центр вибратора; S_x и S_y — реакции в точке крепления рамы к оси вальца; Q — реакция под вальцом со стороны опорной поверхности; T_k — сила сопротивления качению (перекатыванию) катка; α — угол отклонения рамы уплотнителя относительно оси вальца; β — угол поворота вальца; f — коэффициент трения скольжения; μ — коэффициент сопротивления качению; $F = Rf \operatorname{sgn} \dot{x}$; $T_k = Q\mu \operatorname{sgn} \dot{x}$.

На валец со стороны рамы действуют те же силы S_x и S_y, но с обратным знаком.

Общий вес уплотнителя — $G = G_1 + G_2$.

В силу жесткой горизонтальной связи будет $x_1 = x_2 = x$.

Напишем уравнения равновесия сил для вальца, соблюдая указанные на рисунке направления сил:

$$\frac{G_1}{g}\ddot{x} = S_x - Q\mu \operatorname{sgn} \dot{x}; \tag{9}$$

$$\frac{G_1}{g}\ddot{y}_1 = S_y + Q - G_1; \tag{10}$$

$$Y_b \ddot{\beta} = Q\mu \operatorname{sign} \dot{x} \frac{d}{2}. \tag{11}$$

Из рисунка видно, что

$$\beta = \frac{2x}{d};$$

$$\ddot{\beta} = \frac{2\ddot{x}}{d}.$$

Y_b — момент инерции вальца относительно собственной оси.

Выражение (11) запишем в следующем виде:

$$2Y_b \frac{\ddot{x}}{d} = Q\mu \frac{d}{2} \operatorname{sign} \dot{x}. \tag{12}$$

Уравнения равновесия сил, действующих на уплотняющую часть виброуплотнителя, с учетом указанных на рисунке направления сил:

$$\frac{G_2}{g}\ddot{x} = P_x - S_x - Rf \operatorname{sign} \dot{x}; \tag{13}$$

$$\frac{G_2}{g}\ddot{y}_2 = P_y + r - S_y - G_2; \tag{14}$$

$$Y_0 \ddot{\alpha} = P_y a - P_x \left(c - \frac{d}{2}\right) + Rl - Rf \frac{d}{2} \operatorname{sign} \dot{x} +$$

$$+ \frac{G_2}{g}\ddot{x}\left(h - \frac{d}{2}\right) - \frac{G_2}{g}\ddot{y}_2 b - G_2 b. \tag{15}$$

Рассмотрим режим, в котором большую часть времени опорная уплотняющая часть виброуплотнителя находится в воздухе, т. е. не опирается на уплотняемую поверхность, воздействуя на нее лишь импульсом удара. Следовательно, $R = 0$.

Кроме того, рассматривается режим, когда задний валец не отрывается от опорной поверхности (обязательное условие для этого найдем ниже). Пока считаем, что $y_1 = \text{const} = 0$, а следовательно, $\ddot{y}_1 = 0$. Тогда из выражения (10) получаем

$$S_y = G_1 - Q. \tag{16}$$

Из рисунка видно, что

$$\alpha = \frac{y_2}{b};$$

$$\ddot{\alpha} = \frac{\ddot{y}_2}{b}.$$

Тогда выражение (15) с учетом $R = 0$ можно переписать в виде

$$Y_o \frac{\ddot{y}_2}{b} = P_y a - P_x \left(c - \frac{d}{2}\right) + \frac{G_2}{g}\ddot{x}\left(h - \frac{d}{2}\right) -$$

$$- \frac{G_2}{g}\ddot{y}_2 b - G_2 b. \tag{17}$$

Сделав подстановку из выражения (14) в выражение (17), получим

$$Y_o \frac{g}{bG_2}\left(P_y - S_y - G_2\right) == P_y a - P_x \left(c - \frac{d}{2}\right) +$$

$$+ \frac{G_2}{g}\ddot{x}\left(h - \frac{d}{2}\right) - \left(P_y - S_y - G_2\right)b - G_2 b. \tag{18}$$

С учетом (16) выражение (18) примет вид

$$Y_o \frac{g}{bG_2}\left(P_y + Q - G_1 - G_2\right) = P_y a - P_x \left(c - \frac{d}{2}\right) +$$

$$+ \frac{G_2}{g}\ddot{x}\left(h - \frac{d}{2}\right) - \left(P_y + Q - G_1\right)b. \tag{19}$$

После сложения правых и левых частей выражений (9) и (13) с учетом $R = 0$ получаем

$$\ddot{x} = (P_x - Q\mu \operatorname{sign} \dot{x}) \frac{g}{G_1 + G_2}. \tag{20}$$

Подставим (20) в выражение (19):

$$Y_o \frac{g}{bG_2}\left(P_y + Q - G_1 - G_2\right) =$$

$$= P_y a - P_x\left(c - \frac{d}{2}\right) + \frac{G_2}{g}\left[(P_x - Q\mu\ \mathrm{sign}\,\dot{x})\frac{g}{G_1 + G_2}\right]\times$$

$$\times\left(h - \frac{d}{2}\right) - \left(P_y + Q - G_1\right)b. \qquad (21)$$

Выполним преобразования выражения (21):

$$Q\left[Y_o \frac{g}{bG_2} + \mu\ \mathrm{sign}\,\dot{x}\frac{G_2}{G_1 + G_2}\left(h - \frac{d}{2}\right) + b\right] =$$

$$= -Y_o \frac{g}{bG_2}\left(P_y - G_1 - G_2\right) + P_y a +$$

$$+ P_x\left[\frac{G_2}{G_1 + G_2}\left(h - \frac{d}{2}\right) - \left(c - \frac{d}{2}\right)\right] - \left(P_y - G_1\right)b.$$

Пусть $Y_o = \dfrac{G_2}{g}b^2$. Тогда

$$Q = \frac{A}{2b + \mu\ \mathrm{sign}\,\dot{x}\dfrac{G_2}{G_1 + G_2}\left(h - \dfrac{d}{2}\right)}, \qquad (23)$$

где $A = P_y a + P_x\left[\dfrac{G_2}{G_1 + G_2}\left(h - \dfrac{d}{2}\right) - \left(c - \dfrac{d}{2}\right)\right] -$

$$-2b\left(P_y - G_1 - \frac{G_2}{2}\right).$$

Предположим, что в конструкции заложено $h = \dfrac{d}{2}$, т. е. центр тяжести вибрирующей части расположен на высоте оси вальца. Тогда с учетом $G = G_1 + G_2$ выражение (23) примет следующий вид:

$$Q = \frac{P_y(a - 2b) - P_x\left(c - \dfrac{d}{2}\right) + b\left(G + G_1\right)}{2b}. \qquad (24)$$

При выполнении еще одного конструкторского решения, а именно $a = 2b$, выражение (24) примет вид

$$Q = -P_x i + \frac{\left(G + G_1\right)}{2}, \qquad (25)$$

где $i = \left(c - \dfrac{d}{2}\right)/\,2b.$

Запишем условие, при котором Q всегда больше 0:

$$P_x^{\max} < \frac{\left(G + G_1\right)}{2i};$$

$$P < \frac{\left(G + G_1\right)}{2i}. \qquad (26)$$

Таким образом, компоновку вибрационного уплотнителя с вальцем должна нужно производить в следующей последовательности:

1. Проектирование отдельно конструкции вибровозбудителя, вальца и уплотняющей плиты, в процессе чего определяется их масса. При этом должно выполняться условие: радиус вальца равен высоте расположения центра инерции плиты и вибровозбудителя, что обеспечивает справедливость выражения (24).

2. Определение места расположения возбудителя на плите, причем он должен быть сдвинут вперед относительно оси вальца на величину в 2 раза большую, чем расположение центра инерции.

3. Установление возбуждающей силы вибровозбудителя с помощью дебалансов и частоты их вращения так, чтобы выполнялось условие (26), благодаря чему валец всегда будет в контакте с уплотняемой поверхностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Блехман, И.И.** Вибрационное перемещение [Текст] / И.И. Блехман, Г.И. Джанелидзе.— Л.: Машиностроение, 1966.