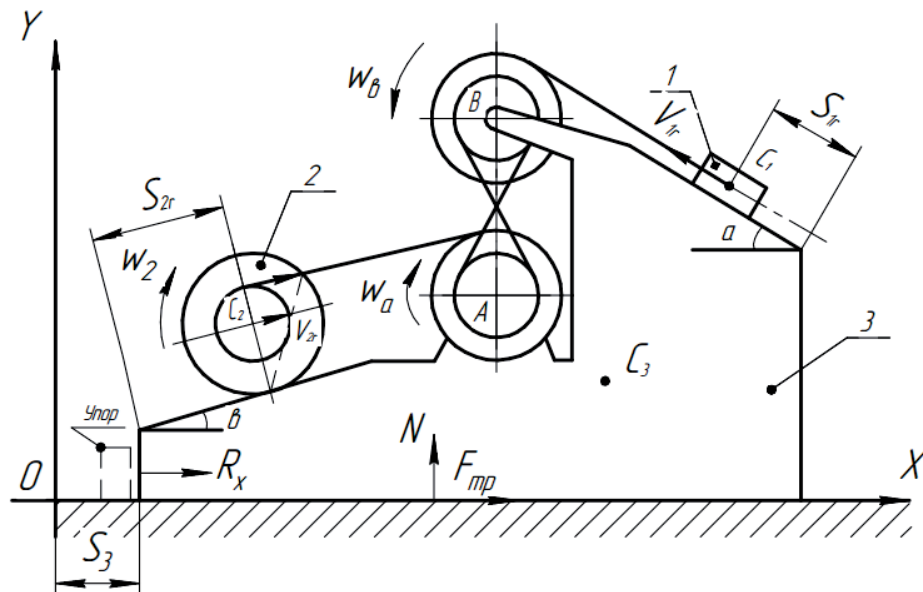


УДК 531.36

Студ. А.С. Чусовитин  
Рук. Л.Т. Раевская  
УГЛТУ, Екатеринбург

## РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ФУНДАМЕНТ

В настоящей работе рассмотрена задача динамического воздействия оборудования на фундамент. Был принят в качестве примера образец оборудования, который является составной частью конвейера в установках на целлюлозно-бумажных производствах (см. рисунок). Целью настоящего расчета было определение горизонтальной и вертикальной составляющих реакции опоры технологического оборудования и их зависимость от времени и ускорений движущихся частей оборудования. Расчетная схема, представленная на рисунке, состоит из привода 3, массой  $m_3$ , груза 1 и блока 2 с массами  $m_1$ ,  $m_2$ , соответственно.



Расчетная схема оборудования на фундаменте

Привод содержит кроме источника энергии передаточный механизм, который в нашем случае представлен двумя барабанами А и В, соединенными скрещенной гибкой связью (силовое устройство, которое передает энергию машине, не показано). Барабаны закреплены на опоре. Из-за скрещенной гибкой связи барабаны вращаются в противоположных направлениях с угловыми скоростями  $\omega_A$  и  $\omega_B$ . Центр тяжести системы привода и опоры, на которой он установлен, не меняет своего положения относительно барабанов и обозначен на рисунке как точка  $C_3$ . Барабаны приводят в движение груз 1 и блок 2, соединенные с ними гибкой связью.

Груз 1 скользит в данный момент времени вверх по поверхности, составляющей угол  $\alpha=30^\circ$  с горизонтом, со скоростью относительного движения  $V_{1r}$  без трения. Блок 2 катится вверх по поверхности с углом наклона к оси  $X$   $\beta=15^\circ$  (основная идея расчетной схемы взята из сборника\* [1]). Примем радиусы барабанов привода одинаковыми и пусть больший радиус вдвое превышает меньший. Радиусы блока 2 отличаются в 4 раза. Отсюда следует, что в соответствии с кинематической схемой, скорость относительного движения центра масс второго звена (точка  $C_2$ ), катящегося с угловой скоростью  $\omega_2$ , будет меньше скорости груза 1, центр масс которого – точка  $C_1$ . Действительно связь между относительными скоростями получается равной следующему соотношению:  $V_{2r} = 0,8 V_{1r}$ . Такой же будет и связь между относительными перемещениями груза 1 и блока 2. Пусть отсутствует сила трения скольжения  $F_{mp}$  при движении тела 3 по горизонтальной поверхности. Определим связь между перемещением привода  $S_3$  и относительными перемещениями звеньев  $S_{1r}$ ,  $S_{2r}$ . Движение всей системы начинается из состояния покоя. По теореме о движении центра масс механической системы общий центр масс не меняет своего положения относительно оси  $X$ , поскольку отсутствуют проекции внешних сил на это направление  $\sum F_{xi}=0$ . Можем составить соотношение для координат  $X$  центра масс всей механической системы в начальный и произвольный момент времени, обозначив через  $x_{ci}$  – координаты центров масс соответствующих частей механической системы.

$$x_c = \frac{m_1 x_{c1} + m_2 x_{c2} + m_3 x_{c3}}{m} = x_{c0} = \frac{m_1 x_{c10} + m_2 x_{c20} + m_3 x_{c30}}{m}. \quad (1)$$

Координаты по оси  $X$  центров масс соответствующих звеньев системы можно записать в виде

$$\left. \begin{aligned} x_{c1} &= x_{c10} + S_3 - S_{1r} \cos \alpha \\ x_{c2} &= x_{c20} + S_3 + S_{2r} \cos \beta = x_{c20} + S_3 + 0,8S_{1r} \cos \beta \\ x_{c3} &= x_{c30} + S_3 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

После подстановки соотношений (2) в равенство (1), получаем связь между движением тела 3 и относительным перемещением груза 1.

$$\begin{aligned} m_1(x_{c10} + S_3 - S_{1r} \cos \alpha) + m_2(x_{c20} + S_3 + 0,8S_{1r} \cos \beta) + m_3(x_{c30} + S_3) = \\ m_1 x_{c10} + m_2 x_{c20} + m_3 x_{c30}; \\ (m_1 + m_2 + m_3)S_3 + (0,8m_2 \cos \beta - m_1 \cos \alpha)S_{1r} = 0; \\ S_3 = \frac{(m_1 \cos \alpha - 0,8m_2 \cos \beta)}{m} S_{1r}. \end{aligned} \quad (3)$$

где  $m$  – это масса всей системы.

\* Яблонский А.А. Норейко С.С. и др. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике: учеб. пособие для технических вузов. М.: Интеграл-Пресс, 2004. С. 177.

Если задать массы  $m_1=300$  кг,  $m_2=600$  кг,  $m_3=800$  кг, то из (3) легко получить связь между перемещениями груза и привода  $S_3 = -0,12S_{1r}$ . Связь между перемещениями обуславливает и связь между скоростью привода и относительной скоростью движения груза  $v_3 = -0,12v_{1r} (\frac{M}{C})$ . Таким образом, на гладкой горизонтальной поверхности сохранение координаты центра масс всей механической системы относительно оси X приводит к смещению оборудования при движении груза и блока по поверхности устройства. Остановить скольжение всей машины по горизонтальной поверхности можно с помощью упора или шероховатой поверхности.

Рассмотрим частный случай с установкой упора слева от тела 3 (см. рисунок). Со стороны упора в этом случае будет приложена горизонтальная реакция  $R_x$ , величину которой можно определить исходя из второго закона Ньютона:  $m\ddot{x} = R_x$ . Ускорения составных частей системы: привода, груза и блока можно определить, дифференцируя соотношения (2).

В результате получаем для ускорений следующие соотношения:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_{c1} &= \ddot{S}_3 - \ddot{S}_{1r} \cos \alpha; \ddot{x}_{c2} = \ddot{S}_3 + 0,8\ddot{S}_{1r} \cos \beta; \\ \ddot{x}_{c3} &= \ddot{S}_3 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

При упоре тело 3 не двигается и ускорение  $\ddot{S}_3 = 0$ . Тогда для реакции со стороны упора получаем:  $R_x = (-m_1 \cos \alpha + 0,8m_2 \cos \beta)\ddot{S}_{1r}$ .

Откуда следует, что чем больше ускорение груза, скользящего по поверхности, тем больше давление на упор.

Остановить скольжение оборудования можно и в случае шероховатой горизонтальной поверхности. Пусть упора нет, но есть сила трения скольжения. Тогда по второму закону Ньютона можем записать

$$m\ddot{x}_c = F_{mp} = Nf,$$

где  $f$  – коэффициент трения скольжения,

$N$  – нормальная реакция опоры.

С учетом соотношений (1) и (4) получаем для силы трения связь с ускорениями частей системы в виде

$$m_1(\ddot{S}_3 - \ddot{S}_{1r} \cos \alpha) + m_2(\ddot{S}_3 + 0,8\ddot{S}_{1r} \cos \beta) + m_3\ddot{S}_3 = F_{mp}. \quad (5)$$

Определим реакцию опоры горизонтальной плоскости  $N$ . Для этого составим уравнение динамики для движения центра масс механической системы вдоль вертикальной оси  $y$ . Поскольку вдоль этой оси действуют силы тяжести, то координата центра масс всей системы не будет оставаться постоянной. Из закона Ньютона получим для реакции  $N$  и ускорений вдоль оси  $y$  следующие равенства ( $G$  – сила тяжести системы):

$$m_1\ddot{y}_{c1} + m_2\ddot{y}_{c2} + m_3\ddot{y}_{c3} + G = N;$$

$$\ddot{y}_{c1} = \ddot{S}_{1r} \sin \alpha; \quad \ddot{y}_{c2} = 0,8\ddot{S}_{1r} \sin \beta; \quad N = (m_1 \sin \alpha + 0,8m_2 \sin \beta)\ddot{S}_{1r} + G.$$

Следовательно, нормальная реакция опоры определяется не только суммарной силой тяжести оборудования -  $G$ , но и ускорениями вдоль вертикальной оси груза и блока, движущихся по поверхности установки. Отсюда следует, что реакция опоры, а значит и давление на фундамент могут быть больше суммарной силы тяжести оборудования, что необходимо учитывать при прочностных расчетах.

УДК 621.432

Студ. Ю.Ю. Юскаев  
Рук. Л.Т. Раевская  
УГЛТУ, Екатеринбург

## ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПНЕВМОДВИГАТЕЛЯХ

В сравнении с пневмодвигателями других типов поршневые пневмодвигатели отличаются хорошей пусковой характеристикой, допускают перегрузку, имеют меньшие утечки сжатого воздуха, не искрят, не перегреваются, просты для монтажа, могут использоваться в любых условиях, так как нечувствительны к неблагоприятным внешним условиям. В качестве источника для пневмодвигателей используется сжатый воздух с давлением на входе 0,4-0,63 МПа. Поршневые пневмомоторы делятся на радиально-поршневые и аксиально-поршневые.

Радиально-поршневые пневмомоторы используются при больших нагрузках, имеют большие габариты и их мощность достигает 20 и более кВт. Аксиально-поршневые пневмомоторы более компактны, поэтому широко используются в приводах горных машин. Пневмодвигатели работают при жестких динамических режимах. Возникающие в них динамические нагрузки складываются из двух составляющих: одна связана с газодинамическими процессами, протекающими в рабочей камере и камере выхлопа, вторая - с кинематикой пневмомотора. Процессы, связанные с истечением газа из емкости под заданным давлением  $p$ , рассматривались, например, в работе [1].

Нагрузки, связанные с газодинамическими процессами  $P_r$ , могут быть определены по зависимости

$$P_r = 0,5\pi d_n (P_p - P_e),$$

где  $d_n$  – диаметр поршня,  $P_p$ ,

$P_e$  – давление в рабочей камере и камере выхлопа, соответственно.