

УДК 531.8

Студ. М.И. Краснюк, Л.А. Монаков  
Рук. Л.Т. Раевская  
УГЛТУ, Екатеринбург

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ОПОРЫ НЕУРАВНОВЕШЕННОГО МОТОРА С УЧЕТОМ СИЛЫ ТРЕНИЯ**

Колебания, возникающие при работе различного рода машин и механизмов передаются прилегающим конструкциям и объектам, что нарушает нормальную работу других устройств, а также вредно влияет на здоровье человека. Кроме того, часто приходится устанавливать различные приборы и другие объекты на колеблющемся основании. При этом, как правило, требуется изолировать объект от основания так, чтобы ему не передавались колебания последнего. В обоих случаях задача виброизоляции решается одинаково – между объектом и основанием устанавливают упругие элементы, а иногда и демпферы сухого или вязкого трения [1].

Если установить мотор весом  $P$  на фундамент, то в статическом состоянии при выключенном станке реакция опоры будет равна силе тяжести  $P$ .

При установке оборудования на несколько опор давление (отношение силы тяжести к площади опоры) может быть значительным. При работе мотора в силу неуравновешенности машин (а она всегда существует) динамическое воздействие на опору может существенно превышать статические реакции и действовать разрушительным образом на фундамент. Кроме того, вибрация от неуравновешенных машин в свою очередь влияет на работу оборудования, вызывая ухудшение прочностных характеристик и уменьшая наработку на отказ. Самое главное – вибрация неуравновешенных моторов оказывает вредное воздействие на людей.

Оценить динамические реакции неуравновешенных масс мотора и является целью настоящей статьи. Источником возмущающих нагрузок будет сила тяжести вращающихся неуравновешенных частей мотора. На рис. 1 показана упрощенная расчетная схема, где изображены силы тяжести и точечная неуравновешенная масса.

В общем виде задача решена [2]. Однако не была учтена сила трения скольжения, действующая на оборудование со стороны фундамента. Она появляется из-за смещения оборудования при вращении неуравновешенной массы.

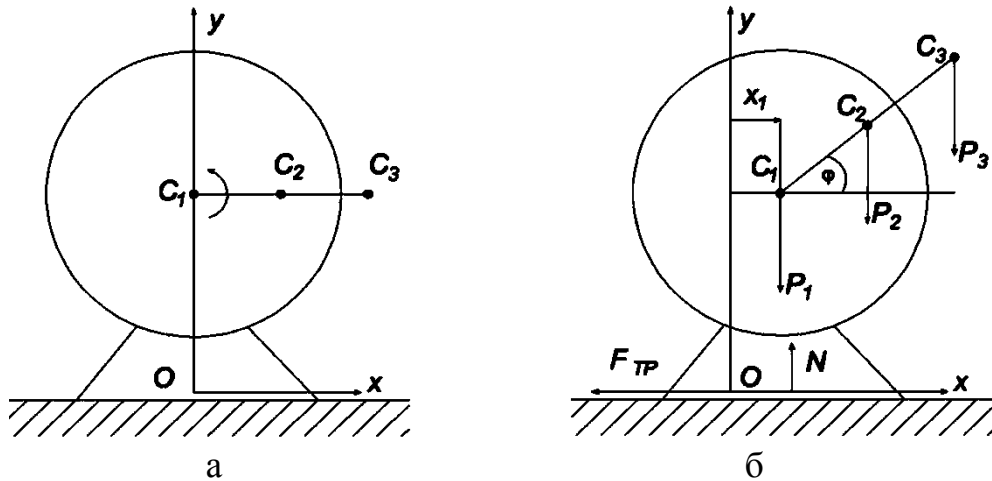


Рис. 1. Двигатель на фундаменте:  
а – начальный момент времени, б – произвольный момент времени

Выберем оси координат  $X$  и  $Y$  таким образом, чтобы в начальный момент времени (момент запуска оборудования) ось ординат проходила через точку  $C_1$  – геометрический центр ротора. Точка  $C_3$  – центр тяжести неуравновешенной точечной массы, а  $C_2$  – центр масс стержня, на этой же линии находится центр масс  $C$  – всей системы.

Следует отметить, что для механических систем, размеры которых много меньше радиуса Земли, понятия центра масс и центра тяжести совпадают. Это связано с тем, что силы тяжести от отдельных частей механической системы, направленные вертикально вниз к центру Земли, можно считать параллельными.

По теореме о движении центра масс системы получаем для координат центра масс уравнения:

$$M\ddot{X}_c = -F_{mp}; \quad (1)$$

$$M\ddot{Y}_c = N - P_1 - P_2 - P_3. \quad (2)$$

В этих уравнениях  $M$  – масса всей системы,  $P$  – силы тяжести соответствующих частей механической системы,  $N$  – нормальная реакция опоры,  $F_{mp}$  – сила трения, направленная против смещения системы  $x_1$ . Координата центра тяжести всей системы относительно оси  $X$  смещается под действием внешней силы  $F_{mp}$ .

Из определения координаты центра масс системы вдоль оси  $X$  получаем:

$$X_c = x_1 + \frac{l(m_2 + 2m_3)\cos(\omega t)}{M}. \quad (3)$$

В полученном соотношении (3)  $l$  – длина стержня,  $\omega$  – угловая частота,  $m_2$  – масса стержня,  $m_3$  – масса материальной точки  $C_3$ . Для смещения  $x_1$  получим соотношение, интегрируя уравнение движения (1):

$$x_1 = \frac{l(m_2 + 2m_3)(1 - \cos(\omega t))}{M} - \frac{F_{mp}}{M} 0,5t^2. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что зависимость смещения центра тяжести системы при наличии силы трения происходит по периодическому закону. Нормальная реакция опоры получается из уравнения (2) в виде

$$N = P_1 + P_2 + P_3 + M\ddot{y}_c = Mg - l(m_2 + 2m_3)\omega^2 \sin(\omega t). \quad (5)$$

Из формулы (5) следует, что динамическая нормальная реакция опоры может превышать статическую при больших угловых скоростях. И в то же время при определенном угле поворота стержня эта реакция может оказываться равной нулю (рис. 2, а).

Пусть  $m_1 = 300$  кг,  $m_2 = 50$  кг,  $m_3 = 20$  кг,  $l = 0,2$  м. Показанная на рисунке 2 зависимость данной реакции опоры от угловой частоты пересекает ось  $X$  в первый раз в точке, где  $\omega$  примерно равно 7,5 рад/с. Для построения функции  $N(t)$  выбран интервал времени от 0 до 2 с. При этих значениях проще было построить график, на котором видно, что незакрепленный мотор будет «подпрыгивать» (рис. 2, б).

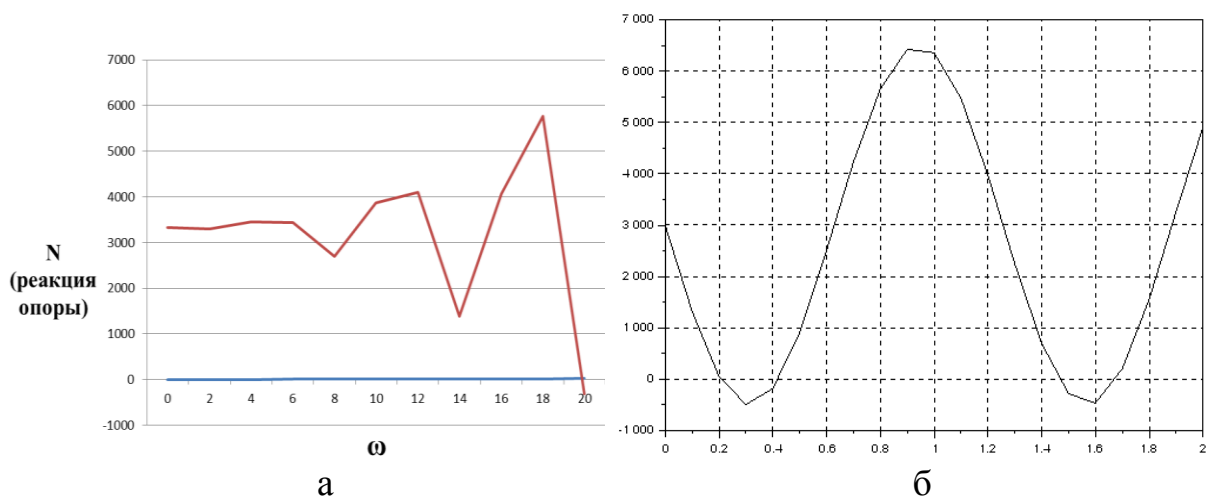


Рис. 2. Зависимость нормальной реакции опоры от угловой частоты (а) и времени (б)

Аналогично меняется и давление на фундамент со стороны оборудования.

Давление на фундамент в виде периодических силовых воздействий могут не только приводить в колебательное состояние машину вместе с фундаментом, но и вызывать колебания окружающих машин и сооружений. Когда частота собственных колебаний какого-либо звена машины или элемента сооружения совпадает с частотой изменения неуравновешенных сил инерции, наступает опасное состояние резонанса [3]. В дальнейшем необходимо рассмотреть жесткое соединение двигателя с фундаментом, когда смещение  $x_1$  исчезает. В этом случае полезно определить горизонтальное давление на опоры и фундамент.

#### Библиографический список

1. Каримов И. Лекции по динамике и усталости машин / И. Каримов. – URL: <http://www.detalmach.ru/lectdinamika10.htm> (дата обращения 27.11.2017 г.).
2. Денисов Ю.В. Теоретическая механика: учебник / Ю.В. Денисов, Н.А. Клиньских. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 474 с.
3. Вибрации в технике: справочник в 6 т. Том 6. Защита от вибрации и ударов / под ред. К.В. Фролова; ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.

УДК 676.056.23

Студ. А.С. Лысцов  
Рук. В.В. Васильев  
УГЛТУ, Екатеринбург

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИИ ПАРАЗИТНОГО ПРИВОДА БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ № 3 АО «СОЛИКАМСКБУМПРОМ»**

Паразитный привод сушильных цилиндров представляет собой систему зубчатых передач, состоящую из почти сотни зубчатых колес. Удары в зубчатом зацеплении являются источником вибрации всей сушильной части.

Фрагмент типового привода сушильных цилиндров бумагоделательной машины (далее – БМ) показан на рисунке 1. Сушильные цилиндры 1ц и 2ц связаны между собой паразитной зубчатой передачей, состоящей из цилиндрических зубчатых колес 1к и 2к и паразитного колеса 3. Кроме того, цилиндры связаны сеткой 7, охватывающей оба цилиндра и сетководущие валы 4, 5, 6 и имеющей предварительное натяжение [1].