

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.

Давление в камерах носит детерминированный характер и существенно зависит от принятой системы газораспределения и частоты вращения ротора пневмомотора. Проведенные экспериментальные и теоретические исследования показали, что давление ($P_p - P_e$) с достаточной степенью точности (расхождение не превышает 2%) может быть получено при решении системы, включавшей в себя два уравнения термодинамики и одно уравнение Лагранжа [2]. Массовый расход воздуха и скорость поршня зависят от сил, приложенных к поршню. Действительный расход отличается от теоретического из-за возникающих сопротивлений в газовой магистрали, перепадов скоростей и др. Эта разница учитывается коэффициентом расхода. Входящие в термодинамические уравнения параметры, в частности, коэффициент расхода μ , определяют расчетно-экспериментальным путем - методом идентификации. Коэффициент расхода зависит от режима истечения воздуха. Для надкритической зоны истечения получаем величину коэффициента μ , равную 0,5–0,7; для подкритической зоны истечения – $\mu = 0,2–0,5$.

Нагрузки P_k , связанные с кинематикой пневмомотора, зависят от профиля кулачка ротора.

В связи с тем, что в общем случае угол передачи в кинематической паре «кулачок-поршень» меньше $\pi/2$, наряду с вертикальной P_k^e нагрузкой возникает также горизонтальная P_k^c составляющая.

При этом $P_k^e = ma_e$ и $P_k^c = ma_c$ (m – масса поршня, a_e , a_c – вертикальная и горизонтальная составляющие ускорения точки контакта кулачка ротора с роликом поршня).

Ускорения a_e и a_c находят как вторые производные от соответствующих координат профиля кулачка. Их максимальные значения представлены в формулах ниже.

$$a_{e \max} = -0,5n^2 H_k \left[1 - \frac{2(r_u - r_k)n^2 H_k}{D_{cp}^2} \right] \omega^2; \quad (1)$$

$$a_{c \max} = \frac{n^3 D_{cp}^2 (r_u - r_k) H_k}{(n^2 H_k^2 + D_{cp}^2)^{3/2}} \omega^2; \quad (2)$$

где n – число волн синусоиды кулачка ротора;

H_k – ход поршня (размах волны синусоиды);

r_u – радиус шлифовального круга, используемого при шлифовании профиля кулачка;

r_p – радиус ролика поршня;

D_{cp} – средний диаметр кулачка.

Сравнительная нагруженность кулачка ротора может быть оценена двумя показателями через соотношения P_k / P_e и P_k^c / P_k^e . Первый показатель

существенно зависит от частоты вращения. Данные этого показателя для разных типоразмеров пневмомоторов типа ДАР приведены в табл. 1.

Таблица 1

Отношение кинематической нагрузки к газодинамической

Частота вращения, мин ⁻¹	Отношение P_k / P_g				
	Типоразмер пневмомотора				
	ДАР-5	ДАР-10М	ДАР-14М	ДАР-30М*	ДАР-30А
100	0,0066	0,0115	0,0125	0,037/0,029	0,0332
200	0,025	0,046	0,049	0,147/0,116	0,133
300	0,057	0,105	0,111	0,332/0,261	0,300
400	0,10	0,19	0,20	0,59/0,46	0,53
500	0,16	0,29	0,31	0,92/0,73	0,83
600	0,23	0,42	0,45	1,33/1,05	1,18
700	0,31	0,50	0,60	1,81/1,42	1,63
800	0,40	0,76	0,79	2,37/1,86	2,13
900	0,51	0,95	1,00	2,99/2,35	2,69
1000	0,61	1,17	1, 23	3,50/2,91	3,32

В табл. 1 столбец, отмеченный «звездочкой» *, означает, что в числителе показано значение P_k / P_g , определенное при массе поршня 3,88 кг, в знаменателе – при массе 3,06 кг.

Второй показатель от частоты вращения ротора не зависит, соответствующие данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Соотношение горизонтальной и вертикальной составляющих кинематической нагрузки в процентах

Пневмомотор	ДАР-5	ДАР-10М	ДАР-14М	ДАР-30М
$P_k^z / P_k^s, \%$	5,46	8,50	3,82	3,58

Выполненные исследования показали, что при оценке нагруженности необходимо учитывать как газодинамические процессы, так и кинематику пневмомоторов. При этом с ростом частоты вращения вклад кинематической нагруженности становится более существенным, особенно для высокомоментных пневмомоторов.

Горизонтальная составляющая мала и ее можно не учитывать (за исключением мотора ДАР-10М).

Библиографический список

1. Курбатов Е.С. Газодинамика процесса истечения из резервуаров со сжатыми газами // Молодой ученый. 2014. № 8. С. 49–51. URL <https://www.moluch.ru/archive/67/11244/> (дата обращения: 25.11.2018)

2. Калекин В.С., Калекин Д.В., Нефедченко А.Н. Математическая модель поршневого пневмодвигателя с самодействующими клапанами // Омский научный вестник. Омск, 2013. №3 (123) С. 72–76.