

УДК 621.5

## К ДИНАМИКЕ ФОРМИРОВАНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ПНЕВМОМОТОРА

В.М. Бозров В.М., Л.К. Бозрова

*Институт машиноведения РАН, Россия, Москва*

Теория пневматических систем машин как раздел теории машин и механизмов получила развитие применительно к пневмоприводам поступательного движения, в которых в качестве двигателя применяется пневмоцилиндр [1].

Рассматриваются пневматические моторы (ПМ) объемного принципа действия, объем которых циклически изменяется по углу поворота выходного вала. При этом вал ПМ совершает непрерывное вращение. Конструктивное разнообразие объемных ПМ велико. Наиболее распространены пластинчатые, радиально - и аксиально-поршневые, шестеренные. В отличие от приводов с пневмоцилиндром, в которых рассматриваются одна или две рабочие полости, объемные ПМ имеют, как правило, более 4 рабочих камер, изменяемость объема которых, а также механизмы подачи сжатого воздуха в камеры и удаление его из камер обеспечиваются самыми разными способами.

Для обеспечения непрерывного вращения выходного вала ПМ необходимо так организовать рабочие циклы в камерах и их последовательность, чтобы суммарный крутящий момент на валу ПМ был всегда положительным. В работе [2] показана возможность разработки обобщенной математической модели объемных вращательных пневмоприводов, применимой к различным типам объемных ПМ

Термодинамические процессы в камерах и движущий момент  $M$  описываются следующими дифференциальными уравнениями (в общем виде):

$$\frac{dP_i}{d\alpha} = \frac{k}{\omega V_i} \left\{ R \left[ \sum (TG)^+ - \sum (TG)^- \right] - P_i \omega \frac{dV_i}{d\alpha} \right\};$$
$$\frac{dT_i}{d\alpha} = \frac{T_i}{\omega P_i V_i} \left[ P_i \omega \frac{dV_i}{d\alpha} + \omega \cdot V \frac{dP_i}{d\alpha} - R T_i (\sum G^+ - \sum G^-) \right]; \quad (1)$$
$$M = \sum_{i=1,z} P_i \frac{dV_i}{d\alpha}.$$

Для динамических расчетов систему (1) дополним уравнением вращения ротора ПМ в предположении постоянства его момента инерции  $J$ :

$$\frac{d\omega}{d\alpha} = \frac{M}{\omega J}, \quad (2)$$

В (1) и (2)  $z$ - число камер,  $P_i$ ,  $T_i$  – давление и температура воздуха в  $i$ -й камере,  $V_i$ - текущий объем  $i$ -й камеры,  $\alpha$  - угол поворота вала мотора,  $\omega$  - угловая скорость вала ПМ,  $R$  и  $k$ - газовая постоянная и показатель адиабаты для воздуха,  $G$  – секундный расход воздуха. Показатель «+» означает, что воздух втекает в  $i$ -ю камеру, а

показатель «-» - воздух вытекает из этой камеры,  $T$  – температура воздуха в той полости, откуда воздух вытекает,  $G_{\text{пм}}$ - секундный расход сжатого воздуха, поступающего в ПМ из магистрали. Расход  $G$  вычисляем по формуле Сен-Венана. Допущения, принятые при описании термодинамических процессов в рабочих полостях ПМ, приведены в [5].

Наиболее характерным представителем объемных ПМ является пластинчатый ПМ, который принят нами в качестве объекта исследования.

На рис. 1 показана схема реверсивного пластинчатого ПМ, в котором реверс обеспечивается благодаря симметричному расположению каналов.

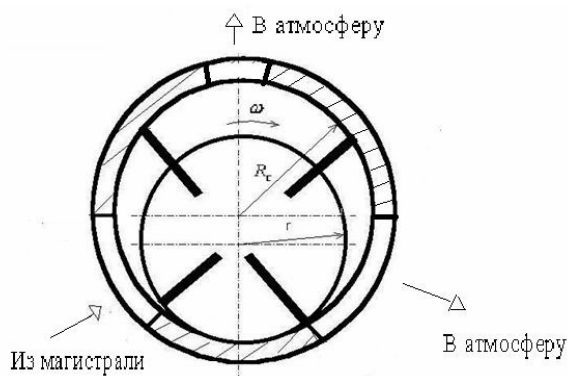


Рис.1. Схема реверсивного пластинчатого ПМ

При этом центральный канал всегда сообщается с атмосферой, а правый или левый каналы подключаются к магистрали в зависимости от требуемого направления вращения ротора ПМ. Конструктивная схема реального пластинчатого реверсивного ПМ приведена также в работе [3].

Компьютерная реализация обобщенной модели (1) и (2) и анализ результатов ее численной реализации составляет важный этап в разработке методов анализа и синтеза пневматических механизмов и машин с объемными ПМ (поршневыми, пластинчатыми, шестеренными и др.). Кроме того, разработанная модель предназначена для прямого решения задач для позиционных и следящих приводов с ПМ

Для этого в работе решается задача анализа формирования главных характеристик ПМ – развиваемого момента и потребляемого сжатого воздуха из магистрали - в начальный период работы ПМ и выхода на установившийся режим.

В системе (1) и (2) в качестве независимой переменной принят угол поворота  $\alpha$  вала ПМ (положение биссектрисы угла между двумя соседними пластинами), а не время  $t$ . Расчеты показали, что такой выбор оправдан и имеет с целью обеспечение корректности прохождения пластинами углов воздухораспределения в статоре пластинчатого ПМ (см. рис.1). Для этого шаг интегрирования принят равным  $1^\circ$ . Очевидно, что не представляет больших трудностей отобразить зависимость угла положения ротора ПМ от времени.

Полученные результаты могут быть распространены и на другие типы объемных ПМ благодаря использованию расчетов в безразмерных параметрах [1,2].

Безразмерные параметры связаны с физическими величинами следующими произведениями :

$$\tau = t/t^*, \quad \sigma_i = P_i/P^*, \quad \theta_i = T_i/T^*, \quad \Omega_j = f_j^3/f^*, \quad \Lambda = M/M^*, \\ \psi = \omega/\omega^*, \quad q = G/G^*, \quad \lambda_i = V_i/V^*, \quad N = J/J^*,$$

где  $\Omega_j$  - пропускная способность  $j$ -го канала ПМ,  $f_j^{\ominus}$  - 'эффективная' площадь  $j$ -го канала.

Масштабные коэффициенты выбраны из условия геометрического представления изменения безразмерного объема  $i$ -ой рабочей камеры от  $\lambda_{\min}$  до  $\lambda_{\max} = 1$  от его угловой координаты  $\alpha_i$ :

$$\lambda_i = \lambda_{\min} + 0,5(1 - \cos \alpha_i)$$

Угол  $\alpha$  имеет масштабный коэффициент  $\alpha^* = 1$ .

Приведем основные выражения для масштабных коэффициентов, определяющих остальные коэффициенты, применительно к пластинчатому ПМ:

$$V^* = \frac{R_c^3 \lambda_{II}}{2e \sin(2\pi/z)}, \quad P^* = P_M, \quad T^* = T_M, \quad f^* = f_1^{\ominus},$$

где  $P_M$  и  $T_M$  - давление и температура сжатого воздуха в магистрали,  $f_1^{\ominus}$  - эффективная площадь впускного канала ПМ,  $R_c$  - радиус внутренней поверхности статора,  $e$  - эксцентриситет (разность радиусов статора  $R_c$  и ротора  $r$ ) ПМ,  $\lambda_{II}$  - коэффициент, учитывающий уменьшение объема камеры за счет толщины пластины.

Тогда

$$\omega^* = 1/t^* = \frac{f^*}{V^*} \sqrt{\frac{2kRT_M}{k-1}}, \quad M^* = P_M V^*, \quad J^* = \frac{M^*}{(\omega^*)^2}.$$

Аналогичный подход применим при определении масштабных коэффициентов и к другим типам объемных ПМ [2].

На графических примерах покажем динамику формирования движущего момента  $M$ , создаваемого в камерах ПМ, а также других параметров (давление и температуру в камере, текущий объем камеры). Для этой цели разработаны программы динамического расчета как в действительных величинах (1) и (2), так и в безразмерных параметрах, основанных на методе Рунге - Кутты - Фельберга численного интегрирования системы дифференциальных уравнений (1) и (2) и реализованных на языке Фортран.

Применение метода безразмерных параметров по аналогии с [1] дает возможность выявить общие кинематические и динамические характеристики и разработать методологию анализа и синтеза конструкций ПМ.

На рис. 2 показаны безразмерные графики изменения давления  $\sigma$ , температуры  $\theta$ , объема  $\lambda$ , производной объема  $d\lambda/d\alpha$  в одной рабочей камере, а также безразмерного движущего момента  $\Lambda$  на валу ПМ, определяемого по аналогии с (1) как

$$\Lambda = \sum_{i=1,z} \sigma_i \frac{d\lambda_i}{d\alpha}. \quad (3)$$

Из графиков видно, что для рационального формирования момента  $\Lambda$  в соответствии с (3) воздухораспределение и пропускные способности каналов необходимо организовать так, чтобы давление  $\sigma$  было максимальным при углах от 0 до 180 град и минимальным - от 180 град до 360 град.

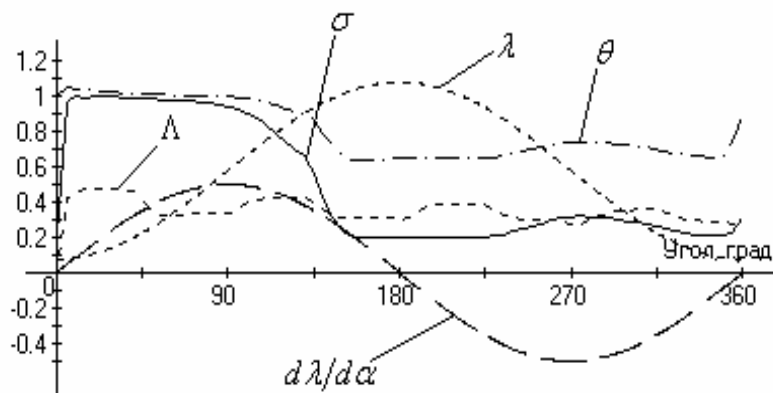


Рис.2

На рис.3 показано влияние угловой скорости  $\omega$  на характер изменения давления  $\sigma$  в камере. Отметим, что изменение температуры  $\theta$  воздуха в камере повторяет характер изменения давления, но с меньшей амплитудой.

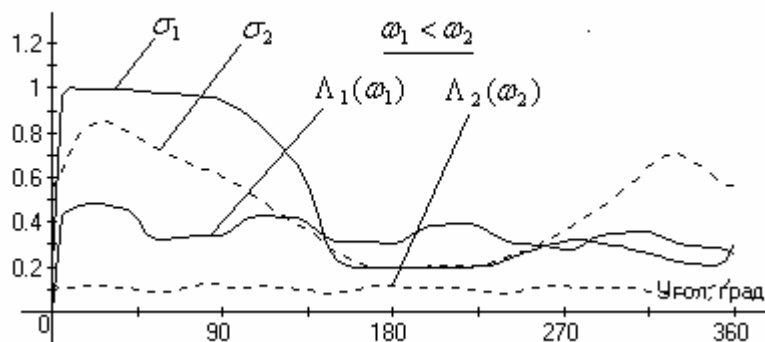


Рис.3

С ростом угловой скорости  $\omega$  ( $\omega_1 < \omega_2$ ) давление в зоне положительной производной объема падает, а в зоне отрицательной производной растет, что в результате приводит к уменьшению развиваемого момента  $\Lambda$ , т.е.  $\Lambda_2 < \Lambda_1$ . Эта тенденция объясняется инерционностью протекания термодинамических процессов в камерах ПМ. Этой же причиной можно объяснить вид механической характеристики (зависимость установившихся значений момента при различных, но постоянных величинах угловой скорости вала ПМ), который имеет падающую тенденцию при росте угловой скорости вала ПМ [3].

### Литература

1. Герц Е.В., Бозров В.М. Обобщенная математическая модель вращательных пневмоприводов различных типов.//Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. Вып. 10. М.: Машиностроение, 1985, с221-230.
2. Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. М. Машиностроение, 1985. 256 с.

3. Бозров В.М., Ивлев В.И. Повышение эксплуатационных характеристик пластинчатого пневмомотора за счет использования конструкционных материалов с улучшенными свойствами. Настоящий сборник.

*Поступило: 05.05.09.*