

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИНЧАТЫХ ПНЕВМОМОТОРОВ

В. М. Бозров, В. И. Ивлев



**БОЗРОВ
Виктор
Маирович**

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института машиноведения им. А.А. Благоднарова РАН. Специалист в области пневматических систем машин. Автор 43 научных трудов и 5 изобретений.

необходим источник сжатого воздуха. К недостаткам, ограничивающим область применения ПМ, относятся низкий КПД до 20% (под КПД понимается отношение мощности, получаемой с ПМ, к электрической мощности, затрачиваемой на привод компрессора), высокий уровень шума при работе без глушителей на выхлопе, а также необходимость иметь источник питания (компрессор).

Основные направления модернизации пневмомоторов

Для повышения эксплуатационных характеристик вышеуказанных устройств с ПМ и их конкурентоспособности по сравнению с электроинструментом соответствующего на-

Введение

Среди пневмодвигателей вращательного движения наиболее широкое распространение получил пластинчатый пневмомотор (ПМ), особенно в ручном механизированном инструменте (пневмодрели, гайковерты, миксеры, дисковые пилы, отрезные и шлифовальные машины и т.п.). Их преимущества по сравнению с аналогичными электроинструментами – лучшая эргономика и энерговооруженность, долговечность и надежность, особенно при работе в условиях агрессивной среды, способность работать при длительных перегрузках, не подвергаясь нагреву. Кроме того, пневмоинструмент менее «привлекателен» для хищения, чем его электрические аналоги, так как при работе с ним



**ИВЛЕВ
Владимир
Исаакович**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института машиноведения им. А.А. Благоднарова РАН. Специалист в области пневматических и газовых приводов. Автор 60 научных трудов, 1 монографии и нескольких изобретений.

© В.М. Бозров, В.И. Ивлев, 2009

значения, необходимо найти такие технические решения, которые позволили бы существенно увеличить ресурс, снизить расход сжатого воздуха и вес устройства на единицу развиваемой мощности. Весьма актуальной является также задача создания ПМ, работающих на сухом воздухе, т.е. не содержащем так называемого масляного тумана для смазывания трущихся деталей пневмоустройств. Перевод пневмодвигателей на сухой воздух позволяет исключить загрязнение маслом рабочих мест и вредное воздействие на здоровье персонала. При этом упрощается система подготовки сжатого воздуха, что снижает ее стоимость. С другой стороны, уже выпускаются безмасляные компрессоры (например, компрессоры серий SF или ZT фирмы Atlas Copco, позволяющие получать сухой сжатый воздух, не содержащий следов масла [1]).

Решение указанных задач идет по трем направлениям:

- оптимизация конструктивных параметров ПМ, совершенствование геометрии и качества впускных и выхлопных трактов с целью минимизации потерь давления сжатого воздуха;
- подбор соответствующих конструкционных материалов и технологий изготовления основных деталей ПМ;
- повышение точности изготовления деталей для снижения утечек сжатого воздуха из камер ПМ и внутренних перетечек между камерами.

Особенности пневмомотора, работающего на сухом воздухе

Отметим, что создание ПМ, работающего на сухом воздухе, возможно только за счет подбора конструкционных материалов для изготовления деталей ПМ, имеющих потери на трение не

выше, чем аналогичные показатели для традиционных ПМ, работающих на сжатом воздухе, содержащем масло. Фактически эта задача сводится к подбору материалов пар трения: пластина – внутренняя поверхность статора, а также пазы ротора – поверхности передней и задней крышек (рис. 1).

Очевидно, что пластина должна быть выполнена из легкого композиционного материала и иметь минимальную толщину, чтобы уменьшить массу и соответственно центробежную силу, прижимающую ее к внутренней поверхности статора.

С другой стороны, пластина должна обладать достаточной жесткостью, позволяющей уменьшить деформации от действующих на нее изгибающих моментов в результате переменного перепада давлений.

В работе [2] приводятся данные испытания пар пластина (углерод, армированный углеродными волокнами) – статор (керамика на основе окиси алюминия), пластина (полиамид) – статор (сталь с никелевым покрытием). Последняя пара показала удовлетворительные результаты. Аналогичные исследования, выполненные в Институте машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, показали, что из рассмотренных разнообразных материалов пар наилучшие показатели трения и износа имеют пары полиамид, армированный углеродными волокнами и мелкодисперсным порошком дисульфида молибдена – сталь с никелевым покрытием или с покрытием из нитрида титана. При этом коэффициент трения достигал минимального значения, равного 0,11. Кроме того, как отмечено в [3], полиамид при трении без смазки по износостойкости в 1,6 раза превосходит текстолит (хлопчатобумажная ткань, пропитанная фенолформальдегидной смолой), который сейчас используется для

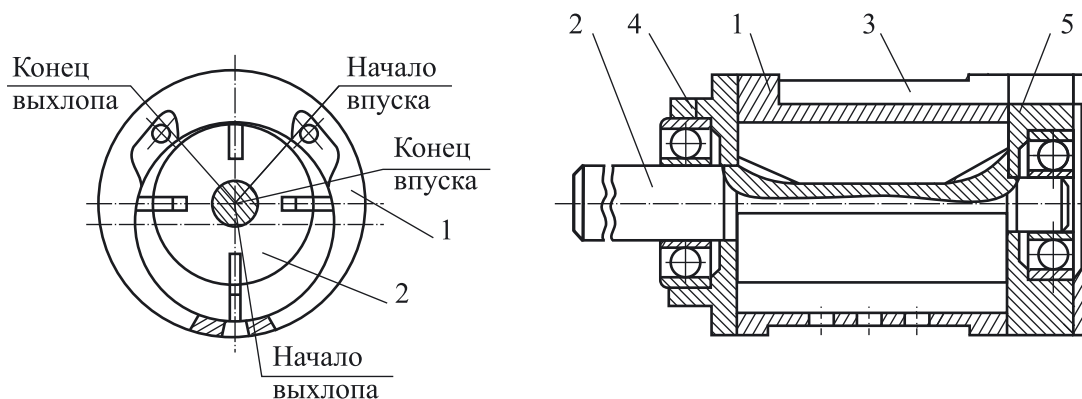


Рис. 1. Схема пластинчатого пневмомотора:

1 – статор; 2 – ротор; 3 – пластины; 4 – передняя крышка; 5 – задняя крышка

изготовления пластин ПМ на некоторых отечественных предприятиях, а также обладает повышенной износостойкостью при работе в абразивной среде.

Результаты численного моделирования

В настоящее время в виду отсутствия у авторов возможности проведения полноценных испытаний пластинчатых ПМ с деталями из перспективных материалов для оценки их влияния на характеристики ПМ была использована его математическая модель.

В основу расчета характеристик пластинчатого ПМ положена обобщенная математическая модель вращательных пневмоприводов, представляющая собой систему нелинейных дифференциальных уравнений переменной структуры. Для их решения используются численные методы [4]. При составлении математической модели ПМ был принят ряд допущений. Во-первых, были использованы допущения, подробно рассмотренные в работе [5] при описании термодинамических процессов в рабочих полостях ПМ. Во-вторых, было решено не учитывать утечки и перетечки сжатого воздуха между камерами мотора, так как решается задача сравнения двух одинаковых ПМ, но с разными материалами пластин и статора.

Уравнения записываются в следующем виде:

$$\frac{dP_i}{d\alpha} = \frac{k}{\omega V_i} [R(\sum TG - \sum T_i G_i) - P_i \omega \frac{dV_i}{d\alpha}];$$

$$\frac{dT_i}{d\alpha} = \frac{T_i}{\omega P_i V_i} [P_i \omega \frac{dV_i}{d\alpha} + \omega \cdot V \frac{dP_i}{d\alpha} - RT_i \times (\sum G - \sum G_i)];$$

$$M_{дв} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sum_{i=1,z} P_i \frac{dV_i}{d\alpha} d\alpha - M_{тр};$$

$$N = M_{дв} \cdot \omega;$$

$$G_{пм} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sum_{i=1,z} G_m d\alpha,$$

где P_i – давление воздуха в i -й камере; α – угол поворота вала мотора; k – показатель адиабаты; ω – угловая скорость вала ПМ; V_i – текущий объем i -й камеры; R – газовая постоянная для воздуха; T – температура воздуха в поло-

сти, откуда он поступает в i -ю камеру; G – секундный расход воздуха, поступающего в i -ю камеру из магистрали (если она сообщается с магистралью) и за счет перетечек из камер с большим давлением (из полости, откуда он поступает в i -ю камеру); T_i – температура воздуха в i -й камере; G_i – секундный расход воздуха из i -й камеры; $M_{дв}$ – движущий момент; z – число камер (равно числу пластин); $M_{тр}$ – момент от сил трения пластин о статор; N – мощность; $G_{пм}$ – секундный расход сжатого воздуха, поступающего в ПМ из магистрали.

Расход G_m равен сумме секундных расходов воздуха во всех камерах, сообщающихся с магистралью в рассматриваемый момент времени. Вычисление расхода проводится по формуле Сен-Венана [5].

Коэффициент трения текстолитовых пластин о стальной статор идентифицировали по экспериментальным данным, приведенным в [6] для ПМ типа РР42-55 (МН 4697-63) и показанным на рис. 2.

Для случая действия на пластины только центробежных сил момент от сил трения рассчитывался по формуле:

$$M_{тр} = zmfR_c(R_c - h)\omega^2,$$

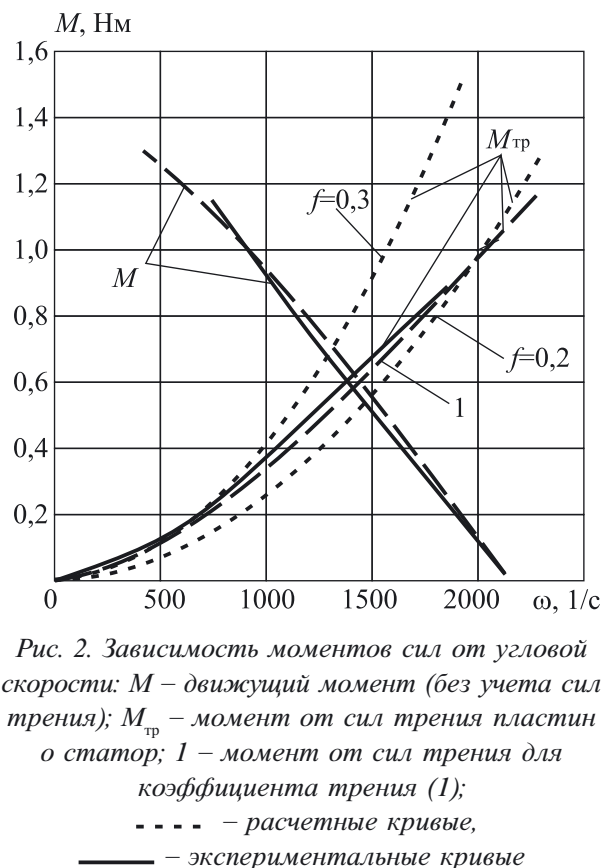


Рис. 2. Зависимость моментов сил от угловой скорости: M – движущий момент (без учета сил трения); $M_{тр}$ – момент от сил трения пластин о статор; I – момент от сил трения для коэффициента трения (1); — — — — расчетные кривые, — — — — экспериментальные кривые

где m – масса пластины; f – коэффициент трения пластин о статор; R_c – радиус внутренней поверхности статора; h – высота пластины.

Результаты экспериментов с указанным ПМ свидетельствуют о том, что для принятой модели коэффициент трения имеет падающую характеристику в зависимости от угловой скорости. Для рассматриваемого диапазона угловых скоростей ω (не более 2000 1/с) была получена следующая зависимость:

$$f = 0,3(1 - 0,0002\omega), \quad (1)$$

которая использовалась в дальнейших расчетах. Пунктирная кривая 1 на рис. 2 – результат расчета момента сил трения с учетом зависимости (1).

Общая процедура построения механических характеристик ПМ подробно описана в [4] и используется при решении приведенных выше уравнений. Отметим, что система (1) численно реализована для $\omega > 0$. Случай, когда $\omega \rightarrow 0$ (пусковой режим), не рассматривается.

На рисунке 3 представлены рассчитанные по представленной математической модели характеристики пластинчатого ПМ для типа PP42-42 (МН 4697-63) при числе пластин $z = 4$ и $z = 6$.

Расчеты проводились для стандартных текстолитовых пластин и стального статора, для полиамидных пластин с наполнителем и стального статора с никелевым покрытием. Также был рассчитан развиваемый пневматический момент (без трения).

Как видно из приведенных результатов, трение весьма существенно влияет на механические характеристики ПМ. Применение полиамидных пластин с антифрикционным наполнителем и никелевое покрытие рабочей поверхности статора позволяют снизить потери на трение и увеличить полезную мощность на 40–50%.

Еще одно решение по снижению веса ПМ и улучшению его акустических характеристик может быть получено заменой шарикоподшипников ротора на подшипники скольжения из металло-фторопластовой ленты. Последняя представляет собой композитную структуру, состоящую из стальной ленты, покрытой пористым слоем бронзового порошка, поры которого заполнены составом на основе фторопласта и дисульфида молибдена. Предварительные

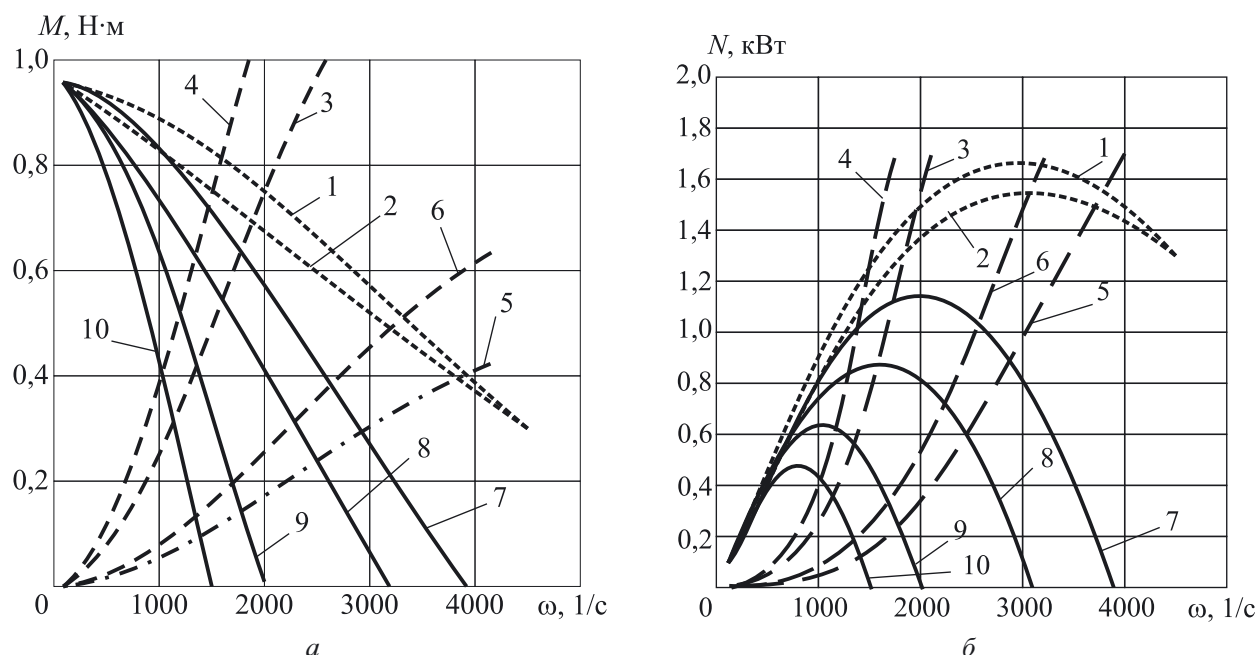


Рис. 3. Расчетные характеристики пластинчатых пневмомоторов: а – развиваемый момент в зависимости от угловой скорости; б – мощность в зависимости от угловой скорости.

1, 2 – развиваемый пневматический момент и мощность ($z = 4$, $z = 6$); 3, 4 – характеристики трения для текстолитовых пластин и стального статора ($z = 4$, $z = 6$); 5, 6 – характеристики трения для полиамидных пластин с наполнителем и стального статора с никелевым покрытием ($z = 4$, $z = 6$); 7, 8 – движущие характеристики для полиамидных пластин с наполнителем и стального статора с никелевым покрытием ($z = 4$, $z = 6$); 9, 10 – движущие характеристики для стандартных текстолитовых пластин и стального статора ($z = 4$, $z = 6$)

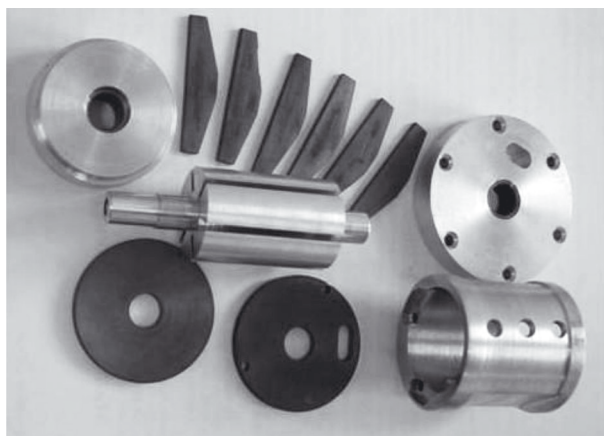


Рис. 4. Опытный образец реверсивного пластинчатого пневмомотора с полиамидными пластинами и металлофторопластовыми подшипниками (в разобранном виде)

испытания такого ПМ ($z = 6$) показали снижение высокочастотной составляющей шума, возникающего при его работе (рис. 4). Основные размеры этого ПМ соответствуют типу РР42-42 (МН 4697-63).

Заключение

Сравнительные расчеты показали, что применение полиамидных пластин с антифрикционным наполнителем и никелевое покрытие рабочей поверхности статора ПМ позволяют снизить потери на трение, увеличить полезную мощность ПМ на 40–50% и использовать сухой сжатый воздух, не содержащий масляный туман.

Акустические характеристики ПМ могут быть улучшены заменой шарикоподшипников ротора на подшипники скольжения из металло-фторопластовой ленты.

Отечественные предприятия, выпускающие ПМ, имеют значительный потенциал совершен-

ствования своей продукции, так как в настоящее время освоена технология производства разнообразных антифрикционных материалов и деталей на их основе. Применение этих материалов в конструкциях ПМ, а также современных методов расчета их конструктивных параметров и эксплуатационных характеристик [4, 5] дает возможность существенно повысить качество выпускаемых на основе ПМ пневмоинструментов и технологического оборудования. Важным показателем качества при этом является возможность использования сухого сжатого воздуха для их работы, что весьма важно с экологической точки зрения и степени влияния на здоровье персонала, использующего оборудование с ПМ.

Список литературы

1. Компрессоры и электростанции «Атлас Копко»: Ежегодный каталог 2006–2007.
2. Wunsch D., Mousa M. Verschleißverhalten von schmierungsfrei betriebenen Druck Luft-hammeln – Motoren // Antriebstechnik. 1987. P. 47–50.
3. Полимеры в узлах трения: Справочник / Под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
4. Бозров В.М., Крейнин Г.В., Бозрова Л.К. К исследованию динамики приводов с объемным пневмомотором // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2003. № 6. С. 3–7.
5. Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
6. Лебедев В.П. Расчет характеристик ротационного пневматического двигателя // В сб. «Механизированный инструмент и отделочные машины». Вып. 2. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1971. С. 11–17.