

УДК 621.541

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИНЧАТОГО ПНЕВМОМОТОРА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЛУЧШЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ

В.М.Бозров, В.И.Ивлев

Институт машиноведения РАН, Россия, Москва

***Аннотация.** В основу расчетов пластинчатого пневмомотора положена обобщенная математическая модель вращательных пневмоприводов, представляющая собой систему нелинейных дифференциальных уравнений переменной структуры.*

***Ключевые слова:** пластинчатый пневмомотор, материалы пар трения, сухой воздух.*

Среди пневмодвигателей вращательного движения наиболее широкое распространение получил ротационный 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 присутствии агрессивной среды, способность переносить длительные перегрузки, не подвергаясь нагреву. Кроме того, пневмоинструмент менее подвержен хищению, чем электрические аналоги, т.к. для его работы 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).

Для повышения эксплуатационных характеристик вышеуказанных устройств с ПМ и их конкурентоспособности по сравнению с электроинструментом соответствующего назначения, необходимо найти такие технические решения, которые позволили бы существенно повысить 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 т.н. 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 её 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.

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, образующих рабочие камеры (рис.1)

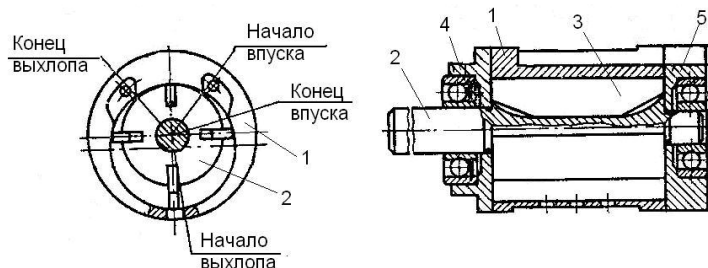


Рис.1. Схема пластинчатого ПМ. 1- статор, 2- ротор, 3 – пластины, 4 и 5 – передняя и задняя крышки

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

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

В [2] приводятся данные испытания пар пластина (углерод, армированный углеродными волокнами) – статор (керамика на основе окиси алюминия), пластина (полиамид) – статор (никелевое покрытие). 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 (фенолформальдегидная смола с хлопчатобумажной тканью), который сейчас используется для изготовления пластин ПМ на некоторых отечественных предприятиях, а также обладает повышенной износостойкостью при работе в абразивной среде.

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

В основу расчетов пластинчатого ПМ положена обобщенная математическая модель вращательных пневмоприводов, представляющая собой систему нелинейных дифференциальных уравнений переменной структуры (уравнения изменения давления и температуры воздуха в каждой камере ПМ, уравнение движения выходного вала ПМ), решаемую численными методами [4,7]. При расчете механических характеристик ПМ

движущий момент и, мощность и потребляемый расход сжатого воздуха из магистрали вычисляются для ряда значений угловой скорости ω . В расчетах в первом приближении не учитываем утечки и перетечки сжатого воздуха между камерами мотора, т.к. решается задача сравнения двух одинаковых ПМ, но с разными материалами пластин и статора. Допущения, принятые при описании термодинамических процессов в рабочих полостях ПМ, приведены в [5].

Коэффициент трения текстолитовых пластин о стальной статор идентифицировали по экспериментальным данным, приведенным в [6] для ПМ модели РР42-55 (МН 4697-63) и показанным на рис.2, где M – движущий момент (без учета сил трения), $M_{тр}$ – момент от сил трения пластин о статор, сплошные линии – экспериментальные кривые.

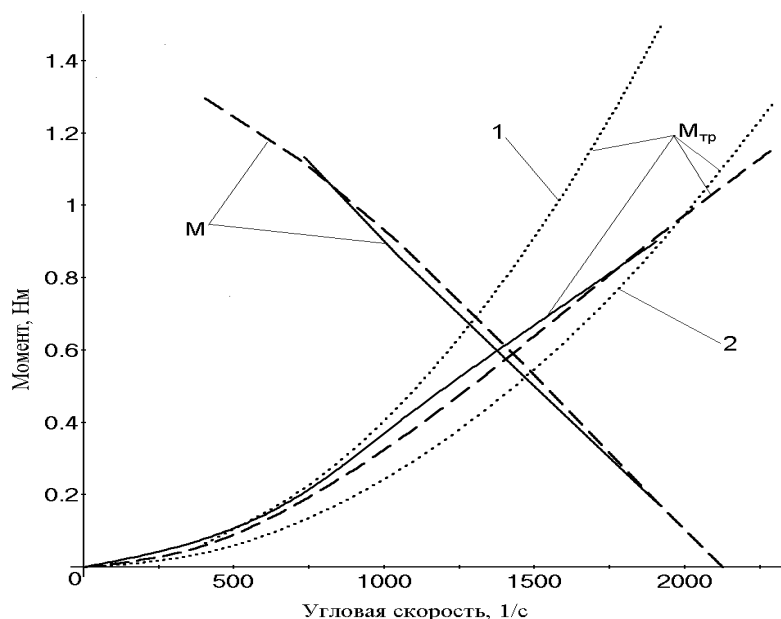


Рис.2. К определению потерь на трение текстолитовых пластин о статор

Кривые 1 и 2 рассчитаны при постоянных коэффициентах трения (соответственно равных 0,3 и 0,2) по формуле для случая действия на пластину только центробежных сил:

$$M_{тр} = z\gamma m f R_c (R_c - h)\omega^2,$$

где z – число камер (или пластин), m – масса пластины, γ – плотность материала 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 (не более 2000 1/с) была получена следующая зависимость:

$$f = 0.3(1 - 0.0002\omega), \tag{1}$$

которая использовалась в дальнейших расчетах. Пунктирная кривая $M_{тр}$ на рис.2 – результат расчета момента трения с учетом (1).

На рис.3 представлены механические характеристики пластинчатого ПМ (соответственно развиваемый момент и мощность в зависимости от угловой скорости для модели РР42-42 (МН 4697-63) при числе пластин $z=4$ и $z=6$. Расчеты проводились для

стандартных текстолитовых пластин и стального статора (кривая 9 для $z=4$ и кривая 10 для $z=6$), а также полиамидных пластин с наполнителем – статор сталь с никелевым покрытием (кривая 7 для $z=4$ и кривая 8 для $z=6$). Кривые 1 и 2 – развиваемый пневматический момент (без трения) соответственно для числа пластин 4 и 6. Кривые 5 и 6 – момент и мощность трения в ПМ с полиамидными пластинами ($z=4$ и $z=6$), а кривые 3 и 4 – соответственно для текстолитовых пластин.

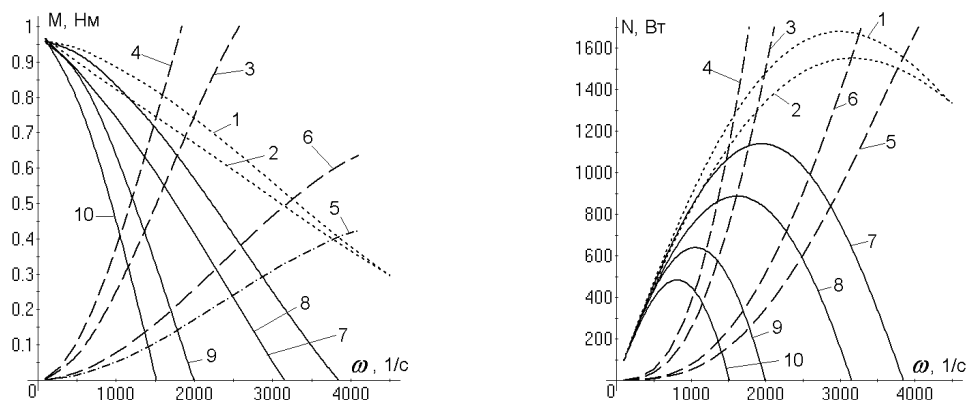


Рис.3. Механические характеристики пластинчатых ПМ

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 улучшения его акустических характеристик может быть связано с 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. На рис.3 показан опытный образец реверсивного ПМ (в разобранном виде) с полиамидными пластинами ($z=6$) и металлофторопластовыми подшипниками. Основные размеры этого ПМ соответствуют указанной выше модели. Предварительные испытания этого ПМ показали снижение высокочастотной составляющей шума, возникающего при его работе.

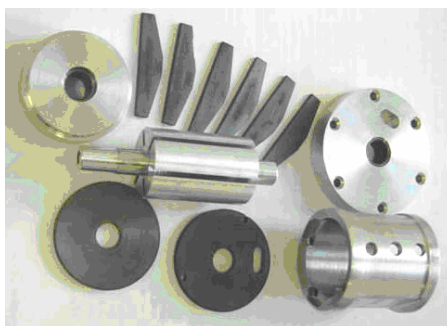


Рис.4. Опытный образец реверсивного пластинчатого ПМ с полиамидными пластинами и металлофторопластовыми подшипниками.

В заключение можно отметить, что отечественные предприятия, выпускающие ПМ и устройства на их основе, имеют значительный потенциал совершенствования своей продукции, т.к. в настоящее время освоена технология производства разнообразных антифрикционных материалов и деталей на их основе, а также существуют развитые методы расчета параметров ПМ исходя из заданных требований.

Литература

1. Компрессоры и электростанции «Атлас Копко». Ежегодный каталог 2006-2007.
2. Wunsch D., Mousa M. Verhlcihverhalten von schmicrungsfrei betriebenen Druck Lufthamellen – Motoren // Antriebstechnik. 1987. p.47-50.
3. Полимеры в узлах трения. Справочник. Под ред. Чичинадзе А.В. 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.
7. Бозров В.М., Бозрова Л.К. Динамика формирования крутящего момента пневмомотора. Настоящий сборник.

Постуила: 20.06.09.