Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLVII, вып. 1, 1962

РАЦИОНАЛЬНЫЙ РЯД ПНЕВМОДВИГАТЕЛЕЙ

В. Д. Зингевич, Е. Д. Рябков

Пневмодвигатели применяются только в горной промышленности и, несмотря на такую сравнительно узкую область, в их производстве наблюдается экономически невыгодная множественность моделей с одинаковыми рабочими параметрами, но различными размерами активной части (роторов, поршней). Например, завод им. Г. И. Петровского (Донецкий СНХ) серийно выпускает шестеренные пневмодвигатели типа БШ2-1-5 и ПШ-7А с одинаковыми рабочими характеристиками (давление 3,5 *кг/см*^{2}, мощность 7 *л. с*, расход сжатого воздуха 6,8—7 *м*^{3}*/мин*), но разными размерами роторов: у первого ширина роторов 150 *мм* и межцентровое расстояние 100, 75 *мм*, у второго соответственно 120 и 145,3 *мм*. Дарасунский завод (Читинский СНХ) и завод «Коммунист» (Кривой Рог) серийно выпускают также одинаковые по рабочей характеристике (5 *кг/см*^{2}; 10 *л. с.*; 10 *м*^{3}*/мин*) поршневые двигатели ДР-10 и МП-5. Но диаметр и ход поршней у двигателя ДР-10 101×62 *мм*, а МП-5 110×80 *мм*. Это не единичные примеры.

В практике проектирования уже унифицируется активная часть пневмодвигателей. Новые модели образуются сочетанием готовой активной части с комплектами такого оборудования, как редукторы, центробежные регуляторы, глушители шума и т. д. В итоге снижается себестоимость серийного производства и сохраняются возможности более полного удовлетворения растущей потребности горной промышленности. Наиболее перспективным решением задачи повышения качества пневмодвигателей и снижения затрат на их производство является разработка рационального ряда пневмодвигателей. Это хорошо известно на примерах таких отраслей промышленности, как электромашиностроение, станкостроение.

Рассмотрим с этой точки зрения особенности работы пневмодвигателей. Пневмодвигатели преобразуют энергию сжатого воздуха в механическую работу либо за счет воздействия струи воздуха на лопатки турбин, либо за счет воздействия на поршень воздуха, заполняющего рабочую камеру. Турбинные двигатели, требующие постоянной нагрузки, не получили широкого распространения для привода машин, подверженных переменной нагрузке. Поршневые двигатели нашли широкое применение в разных модификациях: собственно поршневых, шестеренных и лопастных (ротационных). Ротационные пневмодвигатели отличаются компактностью, но имеют недостатки, обусловленные трением скольжения лопаток. Главная область их применения — ручной инструмент.

В горной промышленности распространены шестеренные и поршневые пневмодвигатели. Наибольшее количество моделей (75%) насчитывают пневмодвигатели шестеренного типа. Но количество выпускаемых шестеренных пневмодвигателей не превышает количества поршневых.

Поршневые пневмодвигатели начали производить значительно ранее шестеренных. В настоящее время применяют два типа поршневых пневмодвигателей: со звездообразным и U-образным расположением цилиндров. И только зарубежные фирмы (например, английские Хольман и Брум-Уэйд) продолжают производство поршневых пневмодвигателей иных типов — бескривошипных и с дифференциальными поршнями (двухкратного расширения).

Шестеренные пневмодвигатели имеют более простой механизм, чем поршневые. В нем нет частей возвратно-поступательного движения. Уплотнение рабочей камеры шестеренных пневмодвигателей достигается не за счет упругости поршневых колец, а повышенной точностью сопряжения роторов с корпусом. Радиальный зазор между ротором и корпусом складывается из постоянной и переменной частей. Первая компенсирует деформации роторов и корпуса, вторая — радиальные биения шеек роторов, расточек корпуса и подшипников качения. При недостаточной точности изготовления приходится допускать радиальный зазор более высокий, чем это нужно для герметизации рабочей камеры. По той же причине приходится увеличивать торцовые зазоры. Как известно, высшие кинематические пары, к которым относятся роторы с зубцами, соприкасающимися по линии, требуют более точной обработки поверхностей и более качественных материалов, чем низшие пары — поршень в цилиндре. Благодаря высокому техническому уровню машиностроения в СССР шестеренные пневмодвигатели широко применяются и частично заменяют поршневые вследствие более продолжительного срока службы между ремонтами и простоты обслуживания. Роторы шестеренчатых пневмодвигателей изготовляются с помощью универсального зуборезного и зубошлифовального оборудования. При проектировании новых горных машин появилась неоправданная тенденция применения шестеренных пневмодвигателей с роторами разной ширины и диаметра. Создавшаяся множественность типоразмеров роторов отрицательно отражается на затратах производства. Например, у поршневого двигателя ДР-10У трудоемкость изготовления составляет 30 нормо-часов, тогда как у шестеренного пневмодвигателя ПРШ-10 70 нормо-часов. Соответственно получается и различная себестоимость — 93 и 250 руб.

На основе рационального ряда пневмодвигателей можно свести к минимуму номенклатуру роторов. В то же время можно расширить номенклатуру пневмодвигателей для нужд горной промышленности за счет использования агрегатной — блочной конструкции пневмодвигателей. Блочные конструкции облегчают процесс модернизации и создания новых машин, процесс сборки и ремонт машин, унификацию их узлов и деталей. Например, фирма Дюстерлох (ФРГ) выпускает не менее 18 типоразмеров шестеренных пневмодвигателей (мощностью 20 *л. с.* при давлении сжатого воздуха 4 *кг/см*^{2}) блочной конструкции на базе только одного типоразмера роторов шириной 235 *мм* с межцентровым расстоянием 145 *мм*.

Разработка рационального ряда облегчается наличием у пневмодвигателей таких общих свойств, как однотипность механических характеристик. Как известно, механические характеристики пневмодвигателей — крутящий момент на валу M, эффективная мощность N и расход сжатого воздуха Q для каждого двигателя — поршневого и шестеренного,

построенные в функции числа оборотов вала n, имеют вид семейства кривых (рис. 1).

Чтобы представить общие свойства индивидуальных характеристик, преобразуем их к безразмерному виду. За относительную единицу мощности двигателя примем ее максимальное значение, за относительные единицы числа оборотов вала, крутящего момента и расхода сжатого воздуха — значения, соответствующие также максимуму мощности. По оси абсцисс отложим числа оборотов, а по оси ординат — эффективную мощность, момент и расход сжатого воздуха, выраженные в безразмерных единицах. Получим безразмерные характеристики пневмодвигателей. При построении установлено, что такие характеристики для шестеренных пневмодвигателей совмещаются в одну характеристику — для косозубых (рис. 2, *а*), в другую — для шевронных (рис. 2, *б*). Подобное совмещение безразмерных характеристик наблюдается и для поршневых пневмодвигателей (рис. 2, *в*).

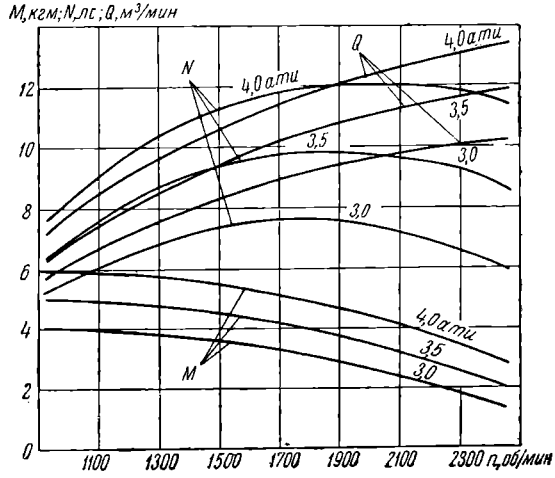


Рис. 1. Механические характеристики шестеренного косозубого пневмодвигателя ПРШ-10 для трех давлений сжатого воздуха

Безразмерная характеристика крутящего момента шевронных пневмодвигателей свидетельствует о более высоком пусковом моменте. Объясняется это тем, что при малых числах оборотов из-за перетечек между впадинами среднее давление воздуха по ширине роторов с шевронными зубцами оказывается более высоким, чем при нормальных числах оборотов. Кроме того, на повышении пускового момента отражается относительно большая ширина шевронных роторов. Как показывает сравнение безразмерных характеристик на малых числах оборотов, расход при шевронных роторах несколько больше, чем при косозубых. Это объясняется прежде всего большей протяженностью периметра сопряжений шевронных роторов с корпусом. На кривизне безразмерных характеристик мощности шевронных и косозубых пневмодвигателей полностью отразились особенности характеристик их крутящего момента. Отношение пускового момента к моменту при максимальной мощности составляет 1,5 для косозубых и 2 для шевронных и поршневых двигателей. Безразмерная характеристика крутящего момента у поршневых пневмодвигателей имеет меньшую кривизну, чем у шестеренных. Это, по-видимому, связано с большими потерями давления в каналах поршневых пневмодвигателей.

Несмотря на некоторые второстепенные различия, безразмерные характеристики поршневых и шестеренных пневмодвигателей одинаковы. Безразмерные характеристики построены в функции относительного числа оборотов. Для составления рационального ряда пневмодвигателей необходимо в качестве одного из параметров принять число оборотов пневмодвигателей. Однако основным параметром следует выбрать мощность двигателя, так как наибольшее соответствие в безразмерных характеристиках всех типов пневмодвигателей наблюдается у кривых мощности (на участке от нуля до максимума). У этих кривых можно выделить две части: восходящую — от нуля до максимума и нисходящую —

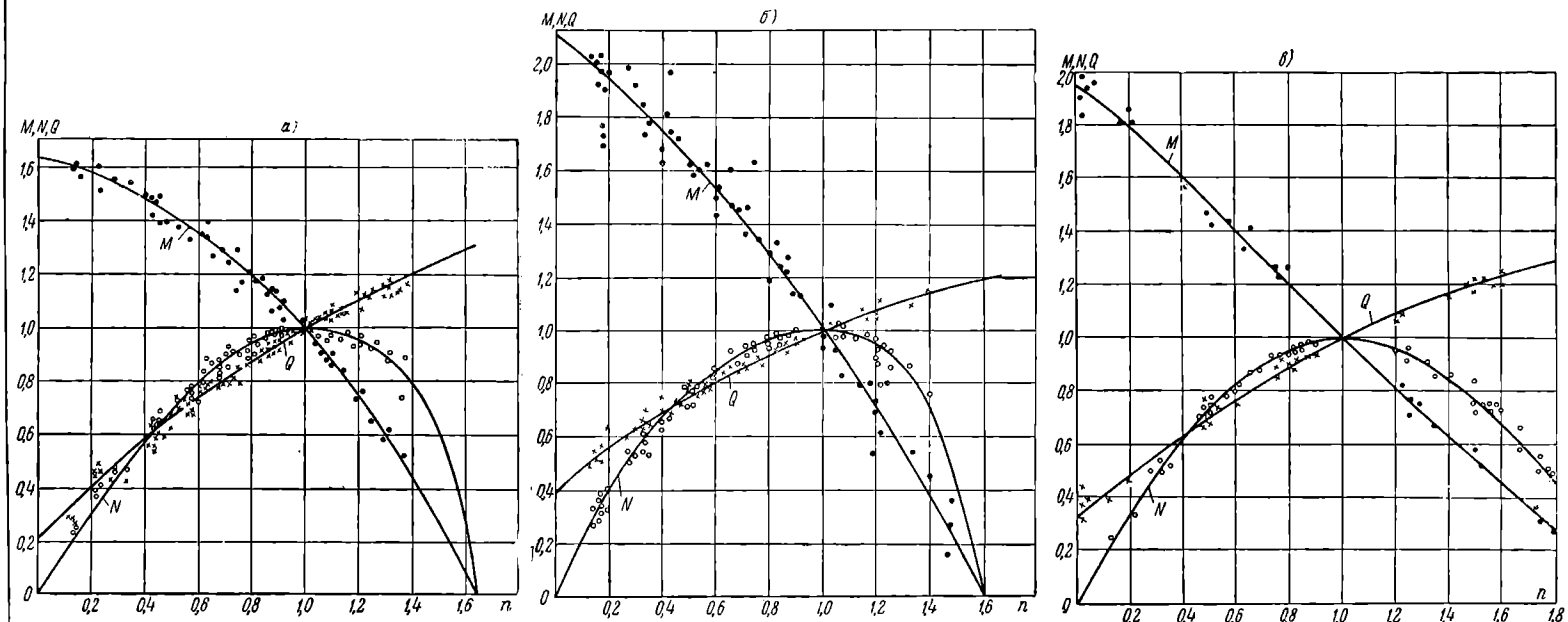


Рис. 2. Безразмерные характеристики пневмодвигателей:

а — шестеренных косозубых ПРШ-10, ПРШ-16 м, ПРШ-32, ПШБ-30, ПШ-32 5и фирмы Дюстерлох; *б* — шестеренных шевронных ПШД-16, ПШД-28А, ПШШ-30, ПШД-35 и фирмы Эйкгофф; *в* — поршневых ДР-5, ДР-5у, ДР-13, ДР-10у и фирмы Алтас-Копко

от максимума до нуля. При работе в режиме, соответствующем нисходящей ветви кривой мощности, двигатели имеют повышенный расход сжатого воздуха. Так, при 50% от максимальной мощности расход сжатого воздуха в зоне нисходящей ветви кривой мощности составит 200% от расхода в зоне восходящей ветви. Следовательно, рабочей зоной должна быть восходящая ветвь кривой мощности.

Практически этот режим может быть обеспечен при наличии центробежного регулятора числа оборотов. Регулятор будет уменьшать подачу сжатого воздуха при снижении нагрузки. В этом же случае при отсутствии регулятора двигатель перешел бы в режим работы, отвечающий нисходящей ветви кривой мощности и повышенного расхода сжатого воздуха. При отсутствии регулятора двигатель нецелесообразно эксплуатировать недогруженным, тогда как при наличии регулятора недогрузка не вызовет перерасхода сжатого воздуха. Разумеется, регулятор повысит стоимость двигателя и не оправдает себя, когда нагрузка на двигатель даже при холостой работе машины не снижается до значений, соответствующих нисходящей ветви кривой мощности.

В безразмерных характеристиках пневмодвигателей в зоне восходящей ветви кривой мощности можно выделить область, в которой кривая расхода проходит ниже кривой мощности. Это и есть область экономичной работы двигателя. Поэтому главный параметр для рационального ряда — мощность — надо взять в этой области.

Для выбора второго параметра — числа оборотов вала — надо иметь в виду условия, которыми в поршневых и шестеренных двигателях это число ограничено. В поршневых пневмодвигателях при существующей точности обработки цилиндров скорость поршня можно допустить до 5 *м/сек*. Распространенные размеры хода поршня не превышают 80 *мм*. Поэтому рабочее значение числа оборотов вала можно допустить до 2000 *об/мин*. В шестеренных пневмодвигателях окружная скорость роторов, изготовляемых с точностью не выше седьмой степени, должна была бы ограничиваться 15 *м/сек*. Однако допускают окружную скорость до 22 *м/сек*, полагая, что повышенный шум в зацеплении не превысит уровня шума выхлопа. Для диаметра роторов 150—170 *мм* рабочее число оборотов шестеренных пневмодвигателей можно допускать до 3000 *об/мин*.

Все это свидетельствует о возможности разработки единого рационального ряда поршневых и шестеренных пневмодвигателей. Экономический эффект от внедрения такого ряда пневмодвигателей в горной промышленности может быть значительным. Он будет складываться из уменьшения расходов на изготовление в связи с увеличением серийности производства, экономии от повышения качества изготовления и срока службы пневмодвигателей, экономии от улучшения их эксплуатационных характеристик и, наконец, экономии на проектных работах.