

О ПНЕВМАТИЧЕСКОМ ДВУХСТУПЕНЧАТОМ ШЕСТЕРЕНЧАТОМ ДВИГАТЕЛЕ

С. И. ШУБОВИЧ

(Представлена научным семинаром кафедры горных машин, рудничного транспорта и горной электромеханики)

Шестеренчатые пневматические двигатели с прямозубыми и косозубыми роторами, получившие широкое применение в приводах машин, эксплуатируемых в условиях, опасных по газу и пыли, являются наиболее простыми и надежными взрывобезопасными двигателями, но их экономические и тяговые характеристики относительно низки. Эти показатели можно улучшить, если шестеренчатый двигатель выполнить по двухступенчатой схеме. Особенности работы и основные показатели двухступенчатых двигателей, насколько известно автору, не приводятся в литературе. Цель данной части — восполнить этот пробел.

Принципиальная схема двухступенчатого двигателя приведена на рис. 1. В корпусе такого двигателя, разделенном вертикальной стенкой на две самостоятельные камеры, размещаются соосно две пары зубчатых роторов с прямыми или косыми зубьями. Каждая камера с одной парой роторов образует отдельную ступень. Один из роторов первой ступени имеет вал, являющийся общим для ротора второй ступени, поэтому моменты, развиваемые на всех роторах, суммируются. Сжатый воздух из воздушной сети поступает в полость впуска первой ступени и совершает в ней работу при постоянном давлении p_1 , как это имеет место в обычном шестеренчатом двигателе с прямозубыми роторами или с роторами косозубыми, но с малым наклоном зубьев. Воздух, совершивший работу, выносится впадинами (при давлении p_1) в полость выпуска. На пути следования, когда впадины, заполненные сжатым воздухом, достигнут специальных отверстий 1 (рис. 1) в корпусе двигателя, часть воздуха вытечет в канал 2 и расширится при этом одной из впадин роторов первой ступени с каналом 2 до присоединения следующей очередной впадины, давление в канале 2 и полости впуска второй ступени дополнительно понизится до величины p_3 . Это произойдет потому, что за указанный отрезок времени роторы второй ступени повернутся на угол, соответствующий половине шага зацепления роторов, и объем пространства полости впуска этой ступени увеличится на величину V_n . Таким образом, в полость впуска второй ступени будет непрерывно поступать воздух, отработавший в первой ступени, но с меньшим и переменным давлением.

Здесь следует отметить, что отбор воздуха из первой ступени для питания второй ступени не оказывает никакого влияния ни на величину теоретического расхода воздуха, ни на величину работы первой ступени. В этом можно убедиться, если рассмотреть аналитические зависи-

мости полезной работы и расхода воздуха, полученные из анализа рабочего процесса шестеренчатого двигателя с прямыми или косозубыми роторами [1—3].

Теоретическая работа, совершаемая во второй ступени воздухом, отработавшим в первой ступени, запишется таким выражением:

$$L_2 = \int_{p_2}^{p_3} p dV - p_0 V_h,$$

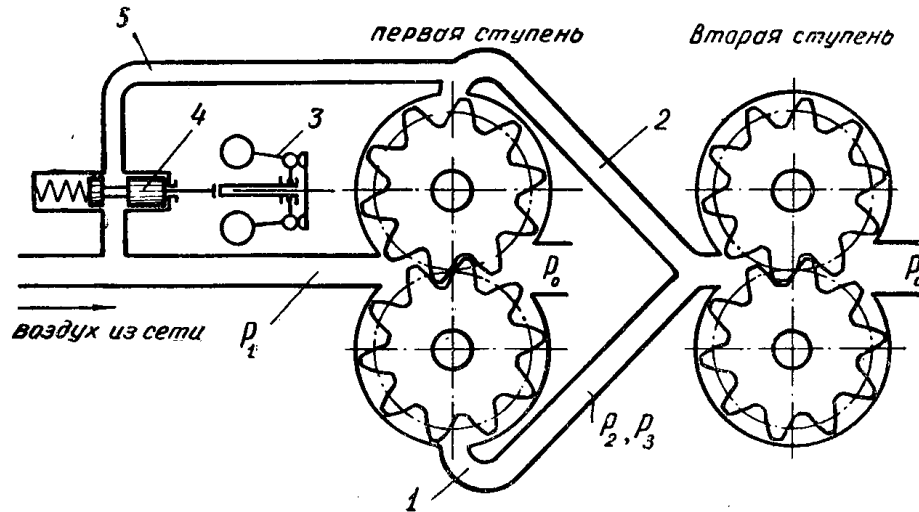


Рис. 1. Принципиальная схема двухступенчатого двигателя.

а работа, совершаемая в первой ступени,

$$L_1 = (p_1 - p_0) V,$$

и, следовательно, теоретическая работа объемной единицы сжатого воздуха в двухступенчатом двигателе будет равна

$$L_T = (p_1 - p_0) V + \int_{p_2}^{p_3} p dV - p_0 V_h,$$

где p_0 — давление в полостях выпуска первой и второй ступеней. Для наглядности величины этих работ представлены площадями на теоретической диаграмме рабочего процесса двухступенчатого двигателя (рис. 2), где площадь $ABED$ выражает величину теоретической полезной работы, совершаемой в первой ступени, площадь $GHFE$ — во второй ступени, площадь $ABGHFE$ — в двигателе в целом и площадь $ABCD$ — располагаемую работу сжатого воздуха. Не трудно видеть, что полезная работа воздуха в двухступенчатом двигателе больше работы воздуха в одноступенчатом двигателе на величину, выражаемую на диаграмме площадью $GHFE$. Эта дополнительная работа представляет собой часть работы расширения сжатого воздуха, которая в обычных прямымозубых и косозубых двигателях не используется, а бесполезно теряется в процессе выхлопа. Частичное использование работы расширения в двухступенчатом двигателе обеспечивает ему более высокий к.п.д. и, следовательно, более низкий удельный расход воздуха.

Вторая ступень может использоваться не только для повышения экономичности двигателя, но и для улучшения тяговых свойств его, в частности, для увеличения крутящего момента при пуске. Увеличение

пускового момента двигателя, как известно, весьма желательно, так как в ряде случаев размеры двигателя, устанавливаемого для привода заданной машины, определяются не мощностью, а величиной пускового момента. Чтобы увеличить крутящий момент двухступенчатого двигателя, достаточно подать в полость впуска второй ступени сжатый воздух из сети и повысить давление в этой полости. Степень повышения крутящего момента будет, очевидно, зависеть от степени повышения давления на впуске второй ступени и соотношения геометрических параметров первой и второй ступеней. Подачу воздуха из сети во вторую ступень можно осуществить автоматически в зависимости от изменения скоростного режима двигателя, вызываемого увеличением нагрузки, например, с помощью устройства (рис. 1), состоящего из центробежного регулятора 3 и золотника 4, перекрывающего канал 5. При подаче воздуха из сети во вторую ступень в таком количестве, при котором давление в полости впуска этой ступени станет равным давлению сети, крутящий момент двигателя достигнет предельной величины, а экономические показатели снизятся до показателей обычного одноступенчатого шестеренчатого двигателя.

Таким образом, вторая ступень может использоваться при малых и средних нагрузках для повышения экономичности двигателя, а при больших нагрузках — для увеличения перегрузочной способности его.

Для опытной проверки работы двухступенчатого шестеренчатого двигателя и выяснения, насколько велико влияние второй ступени на экономические и тяговые показатели его, автором была создана и испытана модель двухступенчатого двигателя, которая состояла из двух серийных двигателей ПРШ-10, соединенных по описанной выше схеме (рис. 1). Один из двигателей использовался в качестве первой ступени, а второй — в качестве второй ступени. Оба двигателя своими приводными валами присоединялись к одному гидравлическому тормозу, поэтому роторы двигателей имели одну и ту же скорость, а развиваемые ими моменты уравнивались гидротормозом. На такой установке представлялось возможным проводить опыты при совместной работе обеих ступеней и при работе только одной первой ступени. В последнем случае двигатель ПРШ-10, используемый в качестве второй ступени, отсоединялся от тормоза и воздухопроводов.

Для подачи воздуха из сети непосредственно во вторую ступень в целях повышения крутящего момента применялось специальное автоматическое устройство, которое открывало доступ воздуху из сети при снижении числа оборотов вала двигателя, начиная с 1350—1400 об/мин. На трубопроводе, соединяющем воздушную сеть с золотниковым устройством, был установлен вентиль, пользуясь которым представлялось возможным не только отключать это золотниковое устройство, но и исключать проникновение сжатого воздуха из сети во вторую ступень при проведении таких опытов, которые имели своей целью выяснить экономическую эффективность второй ступени.

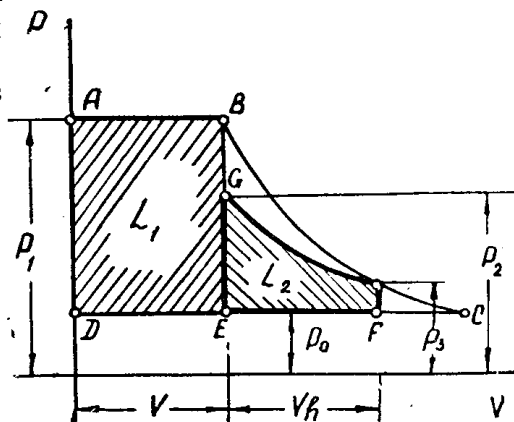


Рис. 2. Диаграмма рабочего процесса двухступенчатого двигателя

Описанная экспериментальная модель, по нашему мнению, в достаточной мере соответствовала двухступенчатому двигателю, однако, следует отметить, что параметры второй ступени этой модели не являлись оптимальными с точки зрения наиболее полного использования энергии воздуха, отработавшего в первой ступени. По этой причине приведенные ниже экономические и тяговые показатели, полученные при испытании модели, нельзя считать наилучшими для двухступенчатого двигателя.

Испытания экспериментальной модели проводились при постоянном давлении сжатого воздуха в сети, равном $3,5 \text{ атм}$, которое согласно паспортным данным является оптимальным для двигателя ПРШ-10. В процессе испытаний измерялись: минутный расход сжатого воздуха, крутящий момент на вале тормоза, температуры и давления воздуха перед первой и второй ступенями, а также уровень шума работающей установки. Опыты проводились при совместной работе обеих ступеней с отключенной и включенной подачей воздуха из сети во вторую ступень и при работе только одной первой ступени, т. е. при работе одного двигателя ПРШ-10, используемого в качестве первой ступени.

Результаты испытаний представлены графиками на рис. 3, откуда видно, что при совместной работе двух ступеней минутный расход воздуха практически равен расходу одноступенчатого двигателя ПРШ-10¹⁾, а крутящий момент и соответствующая ему мощность больше на всем диапазоне изменения скорости вала двигателя. Увеличение мощности вызывает соответствующее снижение удельного расхода воздуха и увеличение к. п. д. Так, например, при номинальном скоростном режиме ($n=1450 \text{ об/мин.}$) снижение расхода составило примерно 18%. Повышение экономичности, видимо, могло быть несколько больше, если бы параметры второй ступени были оптимальными для данного конкретного случая.

Увеличение кратности пускового момента $K = M_{\text{пуск}} : M_{\text{ном}}$ двухступенчатого двигателя по сравнению с одноступенчатым двигателем ПРШ-10 составило 7% без подачи сжатого воздуха из сети во вторую ступень и 42% при подаче воздуха в эту ступень. Из графика (рис. 3) можно видеть, что давление в полости впуска второй ступени при $n=0$ было меньше, чем давление в воздушной сети, а поэтому в наших опытах еще не был достигнут пусковой момент предельной величины. Причиной тому была недостаточная пропускная способность применявшегося золотникового устройства для управления подачей воздуха из сети во вторую ступень. Элементарные расчеты показывают, что при наличии достаточной подачи воздуха во вторую ступень кратность пускового момента двухступенчатого двигателя составила бы 2,1 вместо кратности 1,21, которой обладает двигатель ПРШ-10.

Анализ кривых температур воздуха в сети и в канале, питающем вторую ступень (рис. 3), показывает, что воздух, отбираемый из первой ступени, расширяется при истечении из впадин с поглощением тепла из окружающей среды, причем показатель политропы в наших опытах составлял 1,21—1,28.

Уровень шума при совместной работе двух ступеней на номинальном скоростном режиме составлял 93-95 дБ., а для одноступенчатого двигателя ПРШ-10 со снятыми глушителями — 98-105 дБ. и при установленных глушителях — 90-95 дБ. Эти измерения показывают, что вторая

¹⁾ В действительности расход воздуха при подключенной второй ступени был несколько меньше (на 4—5%), чем при отсоединенной второй ступени. Это объясняется тем, что вторая ступень приводит к уменьшению утечек через неплотности между роторами и стенками корпуса первой ступени.

ступень снижает уровень шума примерно в такой степени, как это достигается применением относительно громоздких глушителей.

Подводя итог сравнительному анализу показателей работы одноступенчатого и двухступенчатого двигателей, можно констатировать, что двухступенчатый двигатель выгодно отличается более высокой экономичностью, лучшими тяговыми свойствами и меньшим шумом

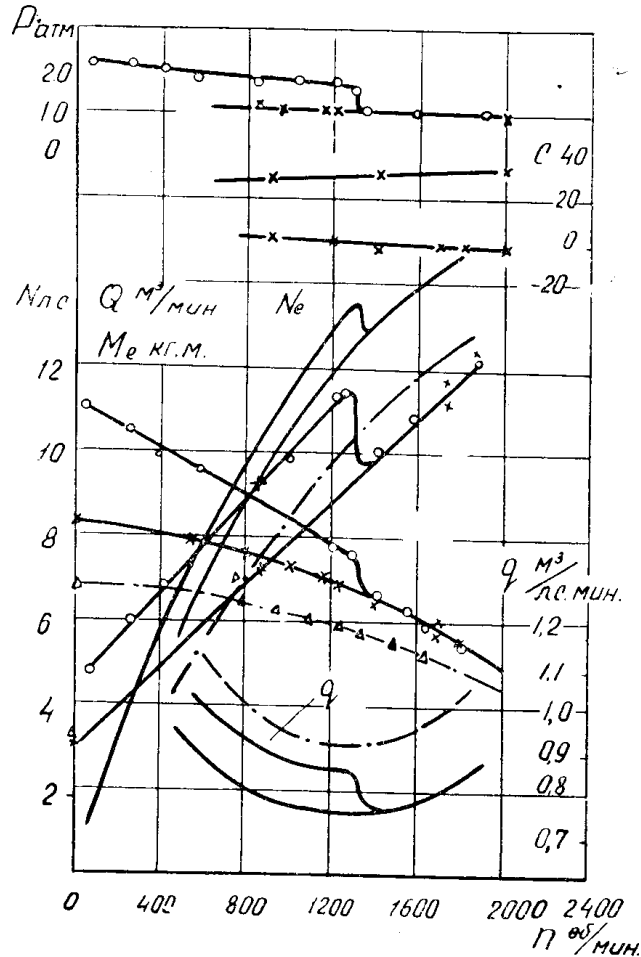


Рис. 3. Характеристики одноступенчатого и двухступенчатого двигателей

при работе. Наряду с этими достоинствами имеются и недостатки, главными из которых являются относительно большие габариты и вес, а также необходимость в сравнительно сложном устройстве для реверсирования его на ходу. По этим причинам двухступенчатые двигатели целесообразно применять, по нашему мнению, в приводах таких машин, которые отличаются тяжелыми условиями пуска, большими кратковременными перегрузками при работе и не нуждаются в реверсировании на ходу.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. С. Борисенко. Пневматические двигатели горных машин. Углетехиздат, М., 1958.
2. А. М. Мишарин. Пневматические шестеренчатые двигатели. Углетехиздат, М., 1948.
3. С. И. Шубович. Исследование рабочего процесса и характеристик некоторых пневматических двигателей. Диссертация на соискание степени кандидата технических наук, Томск, 1956.