

УДК 621.51

Крутиков Г.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СХЕМЫ ПНЕВМОПРИВОДА

В работе [1] представлена энергосберегающая схема пневмопривода (ПП) с торможением путем изменения структуры коммутационных связей. Однако для эффективного использования предлагаемой структуры ПП необходимо определить область параметров и условий работы, при которых целесообразен переход к таким структурам. Подобные оценки удобно проводить не в области физических параметров, а в области некоторых критериев подобия, позволяющих минимизировать объем расчётов на ЭВМ. В качестве таких критериев подобия выступают три критерия: B – критерий инерционности, χ – параметр нагрузки, Ω – относительная эффективная площадь выпускного тракта [2].

$$B = \frac{P_M \cdot F_1}{L \cdot m} \cdot t_0^2; \quad \chi = \frac{P}{P_M \cdot F_1}; \quad \Omega = \frac{f_2^3}{f_1^3}, \quad (1)$$

где P_M – давление питания; L – полный ход поршня; m – масса подвижных частей; F_1 – площадь поршня со стороны рабочей полости; P – статическая нагрузка; f_1^3, f_2^3 – эффективные площади впускного и выпускного трактов; t_0 – базовая единица времени.

$$t_0 = \frac{F_1 \cdot L}{f_1^3 \cdot a_M}, \quad (2)$$

где $a_M = \sqrt{KRT_M}$ – скорость звука при температуре воздуха в магистрали T_M .

Для определения области рационального использования энергосберегающих схем пневмоприводов, отражающих диаметрально противоположный подход к выбору способа торможения (схема № 1 и схема № 2 в [1]). В первой схеме заложен принцип минимизации единовременных затрат при создании схемы, а во второй схеме – принцип минимизации эксплуатационных затрат. Расчёты охватывали достаточно широкую область существования пневмоприводов, представленную пространством изменения критериев подобия B и χ при $\Omega = 1$. На рис. 1, 2, 3 и 4 даны графики, отражающие зависимость относительного массового количества сжатого воздуха M_s , осредненного за цикл, КПД привода η , транспортного времени срабатывания τ_t и безразмерного тормозного пути ξ_t от критерия инерционности B и параметра статической нагрузки χ . Значения безразмерных параметров M_s и η даны в работе [1].

Из сопоставления полученных кривых видно, что практически во всей исследуемой области схема № 2 обеспечивает более высокое быстродействие, несмотря на более плавный режим торможения.

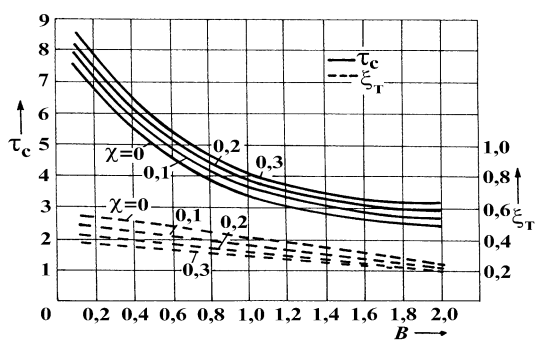


Рисунок 1

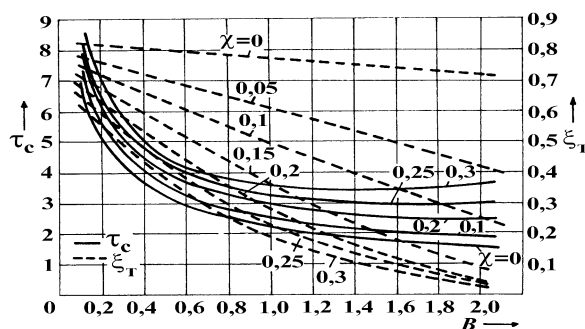


Рисунок 2

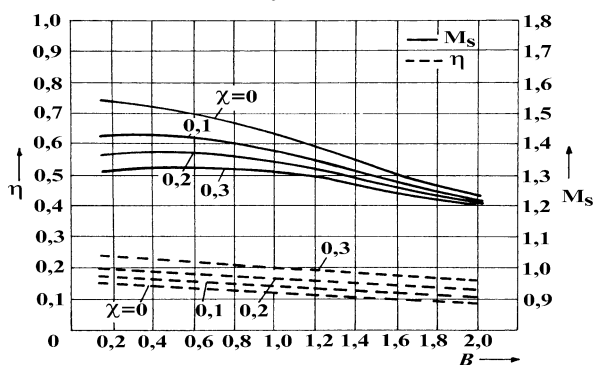


Рисунок 3

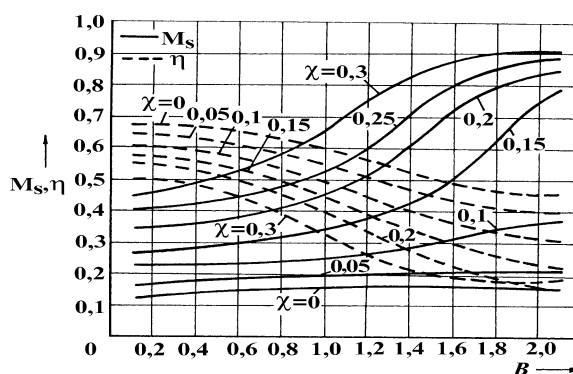


Рисунок 4

Схема № 2 обеспечивает безусловное снижение энергозатрат по сравнению со схемой № 1 во всей области существования пневмоприводов. Наиболее существенное снижение энергозатрат достигается при $\chi = 0 \div 0,1$, а при $\chi = 0,15 \div 0,3$ существенно лишь при большой инерционной нагрузке ($B = 0,1 \div 0,5$). При больших значениях χ ($\chi > 0,3$) и больших значениях B ($B > 1,5$) использование пневмопривода с энергосберегающей структурой становится нецелесообразным, т.к. не приводит к существенному снижению энергозатрат. Эта область отличается наличием большой встречной нагрузки и малой инерционной нагрузкой. Более низкий КПД приводов, работающих по схеме № 2, в этой области объясняется, во-первых, отсутствием рекуперации в сеть из-за малого тормозного пути, во-вторых, недостаточно полным расширением сжатого воздуха в рабочей полости. Кроме того, меняется сам характер доминирующих энергозатрат. В фазе разгона используется, в основном, транзитная работоспособность сжатого воздуха (работа проталкивания), когда воздух выступает лишь как связующее кинематическое звено между компрессором и пневмоцилиндром. Основной вид потерь этой работоспособности – потери на дросселирование. В фазе торможения для привода со схемой № 2, когда отсекается приток сжатого воздуха в рабочую полость, используется и потенциальная энергия сжатого воздуха. Чем длиннее тормозной путь, тем полнее используется эта составляющая работоспособности сжатого воздуха. С увеличением параметра B (уменьшением инерционности) возрастает скорость движения поршня и сокращается тормозной путь. При этом потери на дросселирование растут. Кроме того, увеличиваются в процентном отношении потери, связанные с неполнотой расширения сжатого воздуха. На рис. 5 представлен график, отражающий рост этих потерь с увеличением B .

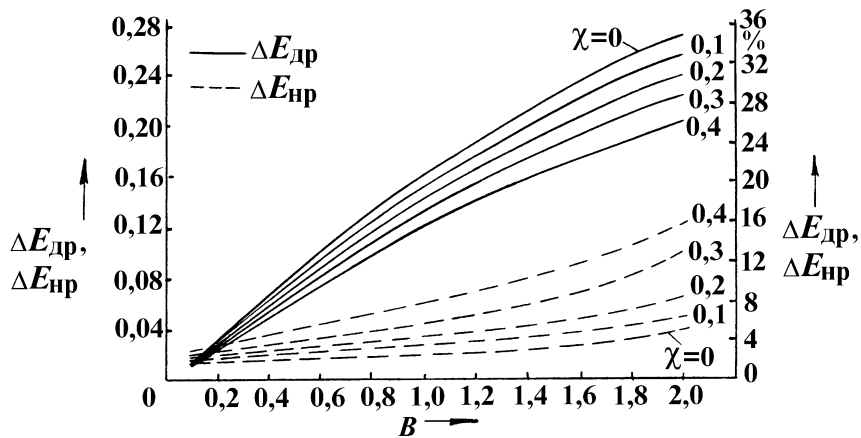


Рисунок 5

Нарастание потерь на дросселирование ($\Delta E_{др}$) с ростом B происходит почти по линейному закону. Например, при $\chi = 0,1$ с увеличением B от 0,1 до 2,0 потери на дросселирование в абсолютном выражении возрастают почти в 20 раз, составляя 1/3 часть от всей работоспособности потока сжатого воздуха, т.е. становятся основным видом потерь. Рост потерь из-за неполноты расширения ($\Delta E_{нр}$) не так стремителен (пунктирные линии на рис. 5), но также весьма существенен для $\chi = 0,1$ с ростом B от 0,1 до 2,0 эти потери увеличились почти в 3,6 раза.

Графики на рис. 1–4 позволяют произвести не только предварительный расчет времени срабатывания и тормозного пути, но и расчет экономической целесообразности использования энергосберегающей структуры привода.

Пример расчета: пневмопривод поворота колонны манипулятора работает с циклическостью 0,2 мин, присоединенная к штоку масса подвижных частей $m = 1080$ кг, статическая нагрузка $P = 450$ Н, диаметр поршня $D = 100$ мм ($F_1 = 0,00785$ м²), давление в магистрали сжатого воздуха $P_M = 5 \cdot 10^5$ Н/м², ход поршня $L = 0,6$ м, температура сжатого воздуха в магистрали $T_M = 393$ К, эффективная площадь впускного тракта $f_1^э = \mu_\Sigma f_{тп} = 0,71 \cdot 10^{-4}$ м².

1. Определим базовую единицу времени:

$$t_0 = \frac{F_1 \cdot L}{f_1^э \cdot \sqrt{K \cdot R \cdot T_M}} = \frac{0,00785 \cdot 0,6}{0,71 \cdot 10^{-4} \cdot 343} = 0,196 \text{ с.}$$

2. Определим критерий инерционности:

$$B = \frac{P_M \cdot F_1}{L \cdot m} \cdot t_0^2 = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 0,785 \cdot 10^{-2}}{0,6 \cdot 1080} \cdot 0,0384 = 0,23.$$

3. Определим параметр нагрузки:

$$\chi = \frac{P}{P_M \cdot F_1} = \frac{450}{5 \cdot 10^5 \cdot 0,00785} = 0,114.$$

По графику на рис. 1, 3 определяют для схемы № 1 безразмерное время срабатывания $\tau = 7$, $M_s = 1,42$, $\eta = 0,17$. Для схемы № 2 в соответствии с графиками 2, 4 $\tau = 5,3$, $M_s = 0,23$, $\eta = 0,6$. Таким образом, размерное время срабатывания для 1-й и 2-й схем соответственно $t = t_0 \cdot \tau = 1,37$ с. и 0,98 с. Экономия сжатого воздуха за один цикл $\Delta M = (M_{s1} - M_{s2}) \cdot F_1 \cdot L = (1,42 - 0,23) \cdot 0,00785 \cdot 0,6 = 0,0056 \text{ м}^3$. В течение 8-часового рабочего дня пневмопривод совершает 2400 срабатывания. Экономия сжатого воздуха $0,0056 \text{ м}^3 \cdot 2400 = 13,44 \text{ м}^3$ в сутки.

Литература

1. Крутиков Г.А. Разработка энергосберегающей структуры пневмопривода с торможением в конце хода // Интегровані технології та енергозбереження. – Харків НТУ «ХП», –2007.– № 1 – С. 3–10.

2. Крутиков Г.А., Кудрявцев А.И., Пекарь Л.А. К вопросу выбора способа торможения пневмоприводов с большими присоединенными массами // Пневматика и гидравлика. М.: Машиностроение. 1987. Вып. 13. С. 51–58.

УДК 621.51

Крутиков Г.А.

ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТІ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ СХЕМИ ПНЕВМОПРИВОДУ

Спираючись на безрозмірні критерії подоби пневмоприводу побудовані номограми за допомогою яких можливий оперативний розрахунок часу спрацювання, масової кількості стиснутого повітря, що споживається пневмоприводом і його ККД. Запропонована методика дозволяє зробити кількісну оцінку ефективності використання енергозберігаючих схем пневмоприводу.