

ВЛИЯНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛЕДЯЩИХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

*Белостокский Технический Университет
Белосток, Польша*

1. Введение

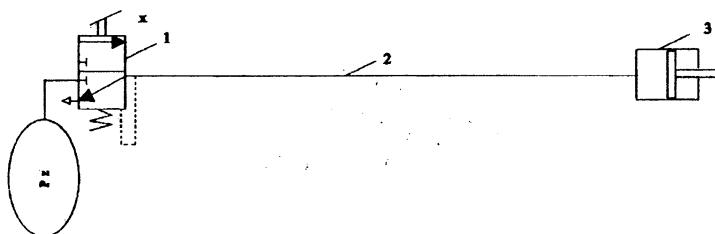
Известны различные способы повышения быстродействия следящих пневматических приводов [1]. Одним из таких способов является применение дифференцирующих клапанов, которые воздействуют только на переходной процесс (ускоряют его), а в процессе установившемся вовсе бездействуют. Как будет показано ниже, дифференцирующие устройства целесообразно применять в тех приводах, которые имеют длинные трубопроводы, большие внутренние объёмы исполнительных органов и для которых важным показателем является быстродействие исполнительных органов. Примером таких приводов могут служить тормозные системы длинных автопоездов, следящие системы управления манипуляторами и технологическими линиями.

Целью представленной работы является теоретическое исследование эффективности применения дифференцирующего клапана в следящем пневматическом приводе с одним или несколькими исполнительными органами.

2. Математическое моделирование привода

В качестве примера принят простой следящий привод без дифференцирующего устройства (рис. 1а) и такой же привод с дифференцирующим клапаном (рис. 1б).

а)



б)

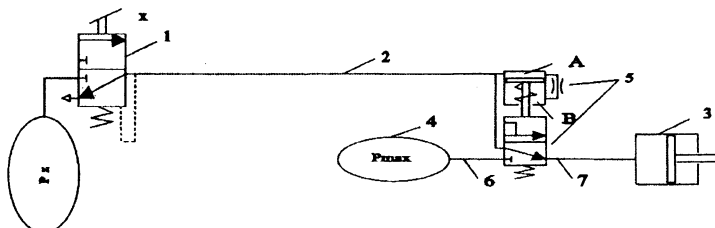


Рис.1. Схемы пневматических следящих приводов: а) простой привод, б) привод с дифференцирующим клапаном; 1-следящий клапан управления, 2-трубопровод, 3-исполнительный орган, 4-ресивер, 5-дифференцирующий клапан, 6,7-трубопроводы

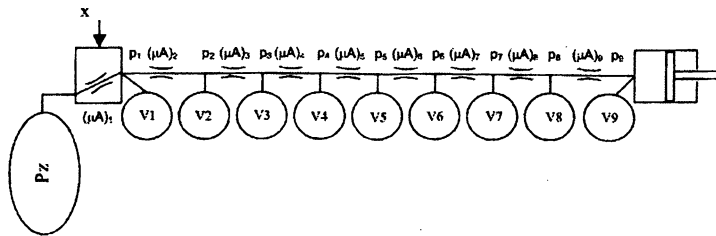
На рис. 2 представлены расчетные схемы этих приводов. При составлении расчетной схемы длинный трубопровод представляется как последовательное соединение коротких трубок ($l < 2,5m$), каждая из которых представляет собой местное сопротивление

ние (дроссель) и сосредоточенный объём, равный внутреннему объёму выделенного на схеме отрезка трубки. Коэффициент расхода воздуха μ такого отрезка определяется

$$\mu = \frac{\mu_j}{\sqrt{j}},$$

где μ_j – коэффициент расхода однометровой трубки;
 j – число метров в выделенном на схеме отрезке.

а)



б)

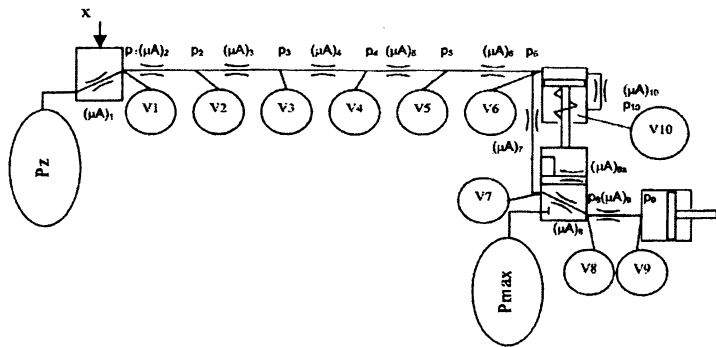


Рис.2. Расчетные схемы приводов согласно рис. 1

При математическом описании динамики рассматриваемых приводов принимаем следующие допущения:

- давление p_1 на выходе крана управления изменяется пропорционально изменению воздействия на этот кран;
- объём исполнительного органа постоянный;
- температура воздуха перед дросселем и за дросселем одинакова;
- клапан дифференцирующего устройства открывается и закрывается скачкообразно при соответствующих давлениях в полостях A и B ;
- давление воздуха в ресивере остаётся постоянным во время переходного процесса;
- коэффициент расхода постоянного дросселя не изменяется во время переходного процесса.

При составлении системы дифференциальных уравнений используем метод узлов и функцию Метлюка-Автушко для массового расхода воздуха через местное сопротивление (дроссель) [1]. Таким образом, привод согласно рис. 1а и рис. 2а описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{V_2}{kRT} \cdot \frac{dp_2}{dt} = (\mu \cdot A)_2 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_1}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_1 - p_2}{1,13 \cdot p_1 - p_2} - (\mu \cdot A)_3 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_2}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_2 - p_3}{1,13 \cdot p_2 - p_3} \quad (2)$$

$$\frac{V_3}{kRT} \cdot \frac{dp_3}{dt} = (\mu \cdot A)_3 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_2}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_2 - p_3}{1,13 \cdot p_2 - p_3} - (\mu \cdot A)_4 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_3}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_3 - p_4}{1,13 \cdot p_3 - p_4} \quad (3)$$

$$\frac{V_4}{kRT} \cdot \frac{dp_4}{dt} = (\mu \cdot A)_4 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_3}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_3 - p_4}{1,13 \cdot p_3 - p_4} - (\mu \cdot A)_5 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_4}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_4 - p_5}{1,13 \cdot p_4 - p_5} \quad (4)$$

$$\frac{V_5}{kRT} \cdot \frac{dp_5}{dt} = (\mu \cdot A)_5 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_4}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_4 - p_5}{1,13 \cdot p_4 - p_5} - (\mu \cdot A)_6 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_5}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_5 - p_6}{1,13 \cdot p_5 - p_6} \quad (5)$$

$$\frac{V_6}{kRT} \cdot \frac{dp_6}{dt} = (\mu \cdot A)_6 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_5}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_5 - p_6}{1,13 \cdot p_5 - p_6} - (\mu \cdot A)_7 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_6}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_6 - p_7}{1,13 \cdot p_6 - p_7} \quad (6)$$

$$\frac{V_7}{kRT} \cdot \frac{dp_7}{dt} = (\mu \cdot A)_7 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_6}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_6 - p_7}{1,13 \cdot p_6 - p_7} - (\mu \cdot A)_8 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_7}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_7 - p_8}{1,13 \cdot p_7 - p_8} \quad (7)$$

$$\frac{V_8}{kRT} \cdot \frac{dp_8}{dt} = (\mu \cdot A)_8 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_7}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_7 - p_8}{1,13 \cdot p_7 - p_8} - (\mu \cdot A)_9 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_8}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_8 - p_9}{1,13 \cdot p_8 - p_9} \quad (8)$$

$$\frac{V_9}{kRT} \cdot \frac{dp_9}{dt} = (\mu \cdot A)_9 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_8}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_8 - p_9}{1,13 \cdot p_8 - p_9} \quad (9)$$

$$p_1(t) = (p_{\max} - p_a) \cdot \frac{t}{t_m} + p_a \quad \text{при } 0 \leq t \leq t_m, \quad (10)$$

где A - площадь поперечного сечения дросселя, м²;
 v_{kr} - критическая скорость струи $v_{kr} = (kRT)^{0,5}$ м/с;
 p_i - абсолютное давление в различных точках расчётной схемы, Па;
 $k=1,4$;
 R - газовая постоянная $R=287$ м²/(с²К);
 T - абсолютная температура, К;
 p_a - атмосферное давление;
 V_i - внутренние объёмы трубопроводов а также подсоединенных камер, м³;
 t_m - время изменения воздействия на кран управления, с.
Система уравнений согласно рис. 1б и 2б имеет вид:

$$\frac{V_2}{kRT} \cdot \frac{dp_2}{dt} = (\mu \cdot A)_2 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_1}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_1 - p_2}{1,13 \cdot p_1 - p_2} - (\mu \cdot A)_3 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_2}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_2 - p_3}{1,13 \cdot p_2 - p_3} \quad (11)$$

$$\frac{V_3}{kRT} \cdot \frac{dp_3}{dt} = (\mu \cdot A)_3 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_2}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_2 - p_3}{1,13 \cdot p_2 - p_3} - (\mu \cdot A)_4 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_3}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_3 - p_4}{1,13 \cdot p_3 - p_4} \quad (12)$$

$$\frac{V_4}{kRT} \cdot \frac{dp_4}{dt} = (\mu \cdot A)_4 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_3}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_3 - p_4}{1,13 \cdot p_3 - p_4} - (\mu \cdot A)_5 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_4}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_4 - p_5}{1,13 \cdot p_4 - p_5} \quad (13)$$

$$\frac{V_5}{kRT} \cdot \frac{dp_5}{dt} = (\mu \cdot A)_5 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_4}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_4 - p_5}{1,13 \cdot p_4 - p_5} - (\mu \cdot A)_6 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_5}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_5 - p_6}{1,13 \cdot p_5 - p_6} \quad (14)$$

$$\frac{V_6}{kRT} \cdot \frac{dp_6}{dt} = (\mu \cdot A)_6 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_5}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_5 - p_6}{1,13 \cdot p_5 - p_6} - (\mu \cdot A)_7 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_6}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_6 - p_7}{1,13 \cdot p_6 - p_7} \quad (15)$$

$$(\mu \cdot A)_{10} \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_6}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_6 - p_{10}}{1,13 \cdot p_6 - p_{10}}$$

$$\frac{V_7}{kRT} \cdot \frac{dp_7}{dt} = (\mu \cdot A)_7 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_6}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_6 - p_7}{1,13 \cdot p_6 - p_7} - (\mu \cdot A)_8 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_7}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_7 - p_8}{1,13 \cdot p_7 - p_8} \quad (16)$$

$$\frac{V_8}{kRT} \cdot \frac{dp_8}{dt} = (\mu \cdot A)_8 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_7}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_7 - p_8}{1,13 \cdot p_7 - p_8} - (\mu \cdot A)_9 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_8}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_8 - p_9}{1,13 \cdot p_8 - p_9} +$$

$$(\mu \cdot A)_{8a} \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_{\max}}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_{\max} - p_8}{1,13 \cdot p_{\max} - p_8} \quad (17)$$

$$\frac{V_9}{kRT} \cdot \frac{dp_9}{dt} = (\mu \cdot A)_9 \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_8}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_8 - p_9}{1,13 \cdot p_8 - p_9} \quad (18)$$

$$\frac{V_{10}}{kRT} \cdot \frac{dp_{10}}{dt} = (\mu \cdot A)_{10} \cdot v_{kr} \cdot \frac{p_6}{RT} \cdot 0,654 \cdot \frac{p_6 - p_{10}}{1,13 \cdot p_6 - p_{10}} \quad (19)$$

3. Методика расчёта

Расчеты проводились с помощью Matlab 5.2.0 с применением функции ode45, которая базируется на методе Рунге-Кутты. Расчеты проводились с точностью 0,001. При расчётах приняты следующие данные:

$$p_{\max} = 8 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$p_a = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$l_{Tp} = 15 \text{ м}$$

$$d_{Tp} = 0,013 \text{ м}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ м}^2$$

$$\mu A_2 \rightarrow \mu A_6 = A \cdot \frac{\mu_j}{\sqrt{2.5}} \text{ м}^2$$

$$\mu A_7 = 5,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

$$\mu A_8 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

$$\mu A_{8a} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

$$\mu A_9 = \mu A_2 \text{ м}^2$$

$$V_1 \rightarrow V_5 = \frac{2,5 \cdot \pi \cdot d^2}{4} \text{ м}^3$$

$$V_6 = \frac{1,45 \cdot \pi \cdot d^2}{4} + V_A \text{ м}^3$$

$$V_7 = \frac{0,1 \cdot \pi \cdot d^2}{4} \text{ м}^3$$

$$V_8 = \frac{1,25 \cdot \pi \cdot d^2}{4} \text{ м}^3$$

$$V_9 = 0,0045 \text{ м}^3$$

$$R = 287,14 \text{ м}^2/(\text{с}^2\text{К})$$

$$T = 293 \text{ К}$$

$$k = 1,4$$

$$v_k = \sqrt{k \cdot R \cdot T} \text{ м/с}^2$$

Приняты следующие условия переключения дифференцирующего клапана:

$$\text{при } p_6 \cdot S \cdot \eta \geq p_{10} \cdot S + F_s \quad (\mu \cdot A)_{8a} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

$$\text{при } p_6 \cdot S \cdot \eta \leq p_{10} \cdot S + F_s \quad (\mu \cdot A)_{8a} = 0$$

$$\text{При этом принимается: } F_s = 10 \text{ Н; } \eta = 0,9; S = \frac{\pi \cdot 0,065^2}{4} \text{ м}^2; V_A = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$V_B = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3; (\mu A)_{10} = \left(\frac{\pi \cdot 0,0005^2}{4}, \frac{\pi \cdot 0,001^2}{4}, \frac{\pi \cdot 0,0015^2}{4}, \frac{\pi \cdot 0,002^2}{4} \right) \text{ м}^2.$$

Результаты расчётов представлены в виде графиков на рис. 3 и рис. 4. На рис. 4 представлена эффективность действия дифференцирующего клапана, определяемая по формуле:

$$\delta = \frac{t_2 - t_1}{t_2} \cdot 100\%,$$

где t_1 и t_2 – время [с] нарастания давления до величины $0,9p_{max}$ соответственно с применением и без применения дифференцирующего клапана.

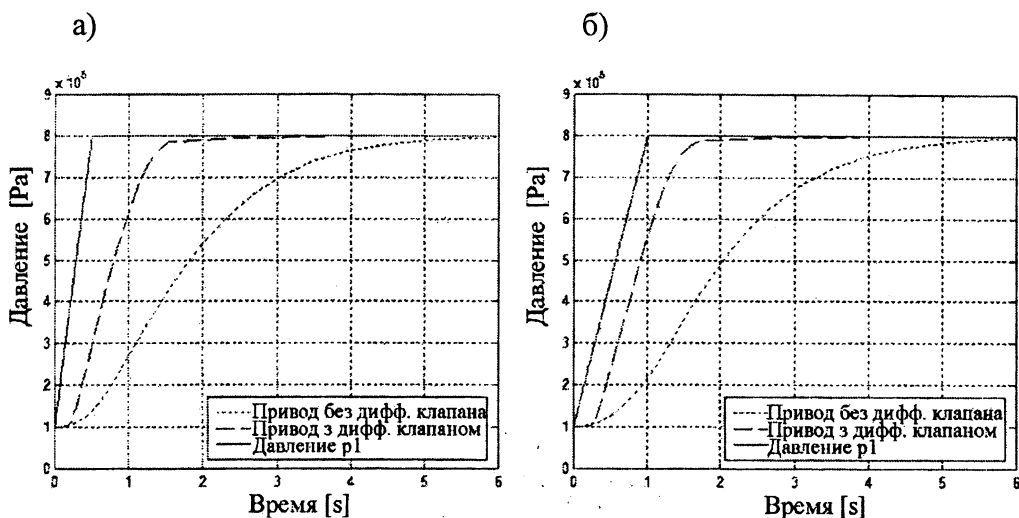


Рис. 3. Изменения давлений в исполнительном органе при: а) $t_m=0,5$ с, б) $t_m=1$ с

4. Заключение

Представленная методика математического моделирования и методика расчетов является сравнительно простой, достаточно точной и удобной в практическом использовании. Теоретический анализ показал высокую эффективность применения дифференцирующих клапанов в приводах следящего действия. Например, при указанных выше данных привода использование дифференцирующего клапана позволяет существенно уменьшить время наполнения сжатым воздухом исполнительных органов (время переходного процесса). Относительная эффективность дифференцирующего клапана согласно рис. 4 может достигать 60%. Как видно из рис. 4 быстроедействие привода существенно зависит от проводимости $(\mu A)_{10}$ внутреннего дросселя дифф. клапана, а также от места расположения этого клапана в приводе.

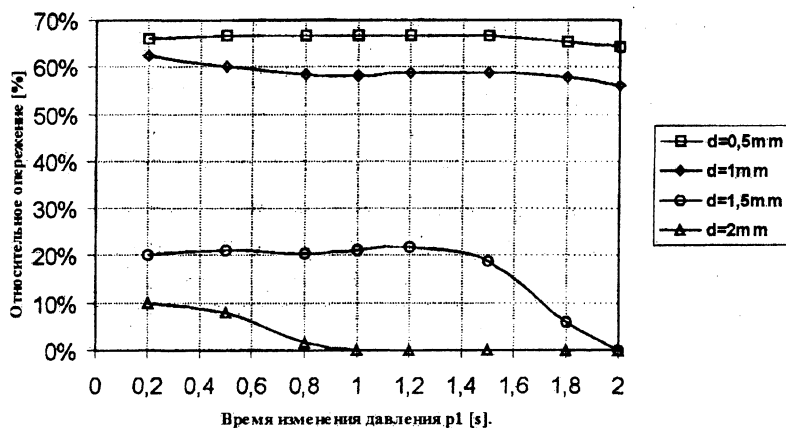


Рис.4. Относительное опережение δ привода в зависимости от времени t_m открытия клапана управления и диаметра d дросселя дифференцирующего клапана

ЛИТЕРАТУРА

1. Метлюк Н. Ф. Автушко В. П.: Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей, Москва, 1980.; 2. M. Miatluk, Z. Kulesza.: Sposoby podwyższania szybkości działania napędów pneumatycznych. Konferencja naukowo – techniczna „Napedy i sterowanie hydrauliczne”, Wrocław, 1996.; 3. Z. Kulesza.: Modelowanie wieloobwodowych pneumatycznych układów napędowych. Rozprawa doktorska, Warszawa, 2003.

УДК 621.2

С.А. Бойко, А.В. Королькевич

О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ТРАКТОРА

*Институт механики и надежности машин НАН
Минск, Беларусь*

Потребительские качества трактора будут значительно повышены в связи с применением компактной бесступенчатой трансмиссии, развитой многопозиционной системы отбора мощности с автоматической регулировкой частоты вращения вала привода, системы заменяемых навесных устройств.

Накопленный к настоящему времени достаточный объем новых знаний позволяет наметить основные направления поэтапного создания трактора (мобильного энергомодуля) нового поколения, соответствующего требованиям XXI века.

Тенденции развития белорусского автотракторостроения базируются на применении микропроцессоров, программного обеспечения, информационных технологий. По крайней мере, прорыв должен осуществляться по следующим основным направлениям:

- автоматизация и компьютеризация управления технологическими операциями МТА на основе обратной связи и адаптации их к внешней среде;
- внедрение системы управления рабочими органами с использованием информации о состоянии почвенного покрова;