

Gryshchenko V.I., Kozhukhova A.V., Dolgov G., Dymochkin D.D.

MATHEMATICAL MODELING OF THE DRIVE ROTOR POSITION OF PIPE FITTINGS

Gryshchenko Vyacheslav I., Russia, Don State Technical University, Department "Hydraulics, GPA and TP", Rostov-on-Don

Kozhukhova Aleksandera V., Russia, Don State Technical University, Department "Hydraulics, GPA and TP", Rostov-on-Don

Dolgov Grigory, Russia, Don State Technical University, Department "Hydraulics, GPA and TP", Rostov-on-Don

Dymochkin Denis D., Russia, Don State Technical University, Department "Hydraulics, GPA and TP", Rostov-on-Don

Abstract

In this paper, the mathematical model of the position actuator for controlling the energy flows of pipe fittings. A feature of the proposal is a discrete electro-pneumatic control system implemented by a pneumatic displacement sensor. The mathematical and computer models to assess the process of analyzing the positioning actuator output link.

Keywords: pneumatic positioner, valving, pneumatic motion sensor.

В данной статье рассмотрена математическая модель позиционного пневмопривода предназначенного для управления энергетическими потоками трубопроводной арматуры. Особенностью предложенного привода является дискретная электропневматическая система управления, реализованная с помощью пневматического датчика перемещения. Разработаны математическая и компьютерная модели позволяющие оценить анализировать процесс позиционирования выходного звена пневмопривода.

Эффективность современных энергосиловых установок определяется совокупностью способов преобразования энергии и управления энергетическими потоками. В настоящее время управление потоками жидкостных и газообразных сред в основном решается с помощью запорно-регулирующей аппаратуры. В ее состав входят различные элементы изменения проходного сечения энергетических потоков. Способы и техника управления такими устройствами имеет ряд

своих преимуществ и недостатков [1,2]. Так например, электропривод запорной арматуры имеет избыточный набор функциональных возможностей при пропорциональном управлении запорно-регулирующими элементами, так как появляется необходимость применения дорогих датчиков положения и соответствующих систем управления. Гидропривод избыточен по развиваемым усилиям. Пневмопривод не имеет плавности хода и точности хода без применения специальных регулирующих устройств [3]. В связи с этим предлагается позиционный пневмопривод (рис.1), состоящий из дискретных устройств электропневмоавтоматики позволяющий успешно решать задачу управления поворотными запорно-регулирующими элементами трубопроводной арматуры (рис.3).

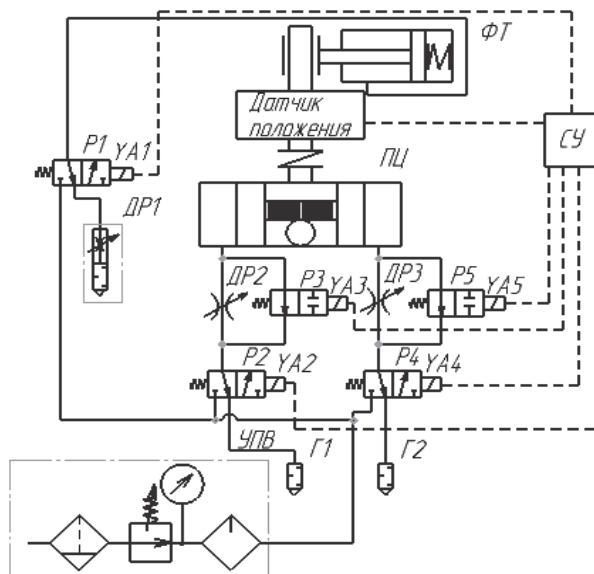


Рис. 1. Принципиальная схема позиционного привода

Где: УПВ - Узел подготовки воздуха, Г1, Г2 – Глушители, P1- P5 - пневмораспределители, ПЦ – Поворотный пневмоцилиндр, ФТ – Фрикционный тормоз, ДП – Датчик положения, СУ – Система управления, YA1- YA5- электромагниты, ДР1- ДР3 – Дроссели.

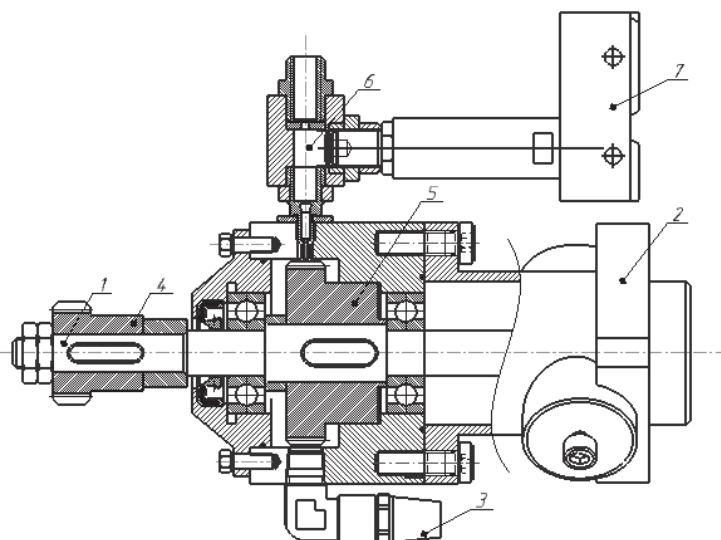


Рис. 2. Пневматический датчик для позиционных приводов
 1 - вал; 2 - фрикционный тормоз; 3 - глушитель; 4 – зубчатое колесо; 5 – модулятор; 6 – сопло; 7 – датчик давления.

Пневмопривод работает следующим образом. Сжатый воздух подается от УПВ к распределителям P1, P2, P4. По команде системы управления СУ на поворот в заданную позицию заслонки подается сигнал на электромагниты YA1, YA2 распределителей P1,P2. При этом фрикционный тормоз ФТ снимет нагрузку с вала пневматического датчика и под действием давления воздуха поршень пневмоцилиндра ПЦ начинает движение. При повороте вала 1 пневматического датчика (рис.2), связанного кинематически с поршнем цилиндра и рабочим органом запорной арматуры (заслонкой) возникает изменение давления на входе сопла 6, фиксируемое датчиком давления 7 (рис.2) [4]. Информация об изменении давления поступает в систему управления, которая считает количество импульсов давления и сравнивает их с заданным значением. Дискрета датчика определяется количеством зубьев модулятора 5 (рис.2) и передаточным отношением зубчатой передачи 5 (рис3). При достижении координаты начала торможения система управления подает сигнал на электромагнит YA5 распределителя P5. При этом увеличивается сопротивление движению газа из выхлопной полости пневмоцилиндра и начинается торможение поршня. При достижении поршнем заданного положения электромагниты YA1,YA2 распределителей P1,P2 отключаются и происходит фиксация вала пневматического датчика и поршень останавливается.

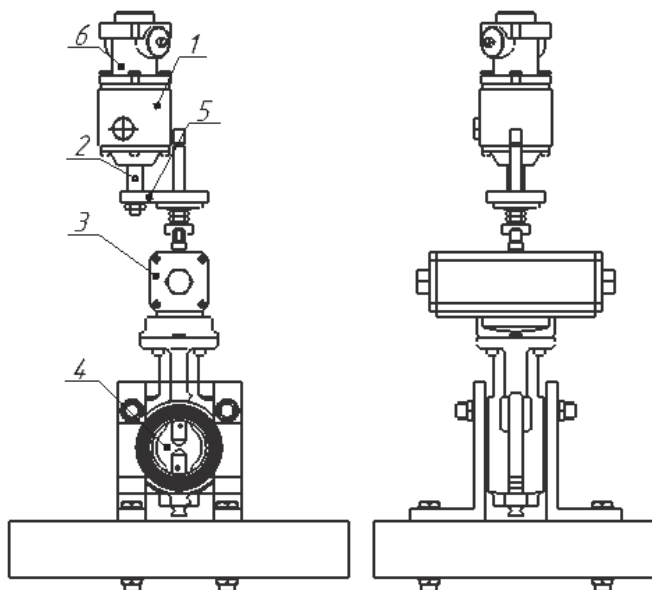


Рис. 3.Общий вид (автоматизированного привода задвижки)
 1 - Универсальный пневматический датчик; 2 – Вал;3 - Поворотный цилиндр; 4 – Дисковый затвор;5 – Зубчатая передача; 6– фрикционный тормоз.

Пример монтажа предложенного привода показан на рисунке 3. На опору с помощью кронштейнов устанавливается 4. Сверху устанавливается стандартный поворотный пневматический цилиндр 3 фирмы Samozzi для запорной арматуры, который совершает поворот дискового затвора (заслонки). На выходящий вал пневмоцилиндра устанавливается пневматический датчик перемещения 1. И на выходном валу датчика устанавливается фрикционный тормоз 6 Samozzi.

На первом этапе проектирования важно подтвердить функциональные возможности предлагаемого привода и оценить процессы, протекающие в нем при позиционировании запорно-регулирующего элемента трубопроводной арматуры. Моделирование процессов позиционирования динамической системы, включающей механическую и пневматическую подсистемы, осложняется не стационарностью потоков сжатого газа, нестабильностью реальных воздействий на пневматическую подсистему [5,6]. Поэтому при формировании математической модели привода (расчетная схема представлена на рис 4.) были приняты допущения: давление источника сжатого воздуха постоянное во времени; термодинамический процесс поведения газа в пневмосистеме принимается адиабатическим; в описании

пневматических устройств используется модель идеального газа, поскольку давление в пневмосистеме ниже 10 бар; утечки не учитываются; сила вязкого трения пропорциональна скорости; коэффициенты расходов принимаем усреднёнными; масса перемещаемых частей принимается постоянной; усилие F_c на выходном звене пневмопривода постоянное; управление пневмораспределителями релейное; время формирования сигнала управления от датчика перемещения не учитывается.

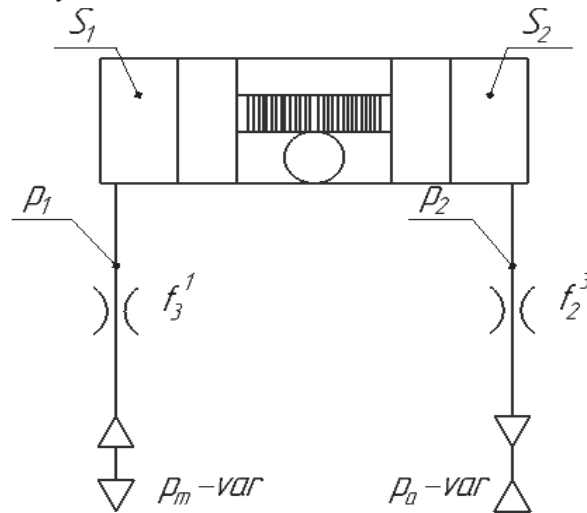


Рис.4 Расчетная схема пневмопривода

Все уравнения, составляющие модель пневмомеханической системы, могут быть объединены в две группы: уравнения расхода и уравнения движения.

Уравнение движения поршня цилиндра исполнительного механизма пневмоцилиндров

$$m \frac{dv}{dt} = p_1 * S_1 - p_2 * S_2 - k_{mp} * V - F_c * sign(V) - F_y; \quad (1)$$

где S_1, S_2 – эффективная площадь нагнетательной и выхлопной полостей, м²;

p_1, p_2 – давление воздуха соответственно в нагнетательной и выхлопной полости цилиндров, Па;

V – скорость перемещения движущихся масс, м/с;

λ – коэффициент вязкого трения, кг/с;

F_c – суммарная сила сопротивления движению, Н;

F_y – реакция левого и правого упоров, Н;
 m_{np} – масса подвижных частей привода, кг.

Пневматическая подсистема привода описывается уравнением неразрывности потока:

$$G_1 = G_2; \quad (2)$$

где $G_1 = G_2$ – массовые расходы сжатого газа в двух рассматриваемых участках, кг/с.

Учитывая, что массовый расход через проточную часть равен

$$G = \mu f p_0 \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT_0}} \cdot \varphi(\sigma_i). \quad (3)$$

И преобразуя уравнение (2) получим уравнения изменения давления воздуха в пневмосистеме (4-6):

Уравнение давления воздуха в напорной полости

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{k \cdot \mu_1 \cdot f_1 \cdot K \cdot p_n \cdot \sqrt{R \cdot T_n} \cdot \varphi(\sigma_1)}{S1_{III} \cdot (X_{01} + X)} - \frac{k \cdot p_1}{(X_{01} + X)} \cdot V \quad (4)$$

Уравнение давления воздуха в выхлопной полости

$$\frac{dp_2}{dt} = - \frac{k \cdot \mu_2 \cdot f_2 \cdot K \cdot p_2^{\frac{3k-1}{2k}} \cdot \sqrt{R \cdot T_a} \cdot (\varphi \frac{\sigma_a}{\sigma_2})}{S2_{III} (X_0 + X_{02} - X) \cdot p_a^{\frac{(k-1)}{2k}}} + \frac{k \cdot p_2}{(X_0 + X_{02} - X)} \cdot V \quad (5)$$

где $\varphi(\sigma_i) = \sqrt{\sigma_i^{\frac{2}{k}} - \sigma_i^{\frac{k+1}{k}}}$ при $0,528 < \sigma_i < 1$;

$$\varphi(\sigma_i) = 0,2588 \text{ при } 0 < \sigma_i \leq 0,528; \quad \sigma_i = \frac{p_i}{p_n}.$$

$$K = \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1}}, \quad (6)$$

k – показатель адиабаты; R – газовая постоянная, Дж/кг·К; T_n , T_a – температура воздуха соответственно в нагнетательной и выхлопной магистрали, К; μ_1, μ_2 – коэффициенты расхода; p_n, p_a – давление воздуха соответственно в нагнетательной и выхлопной магистрали, Па;

f_1, f_2 – площади проходного сечения пневмораспределителя, м²; X_0 – ход поршня, м; X_{01}, X_{02} – отношение начальных («пассивных») объемов V_{01}, V_{02} пневмопривода к полезной площади поршня поршневой и штоковой полости пневмоцилиндра соответственно, м.

Объединяя полученные зависимости, получим систему уравнений (1-6), описывающую процесс позиционирования выходного звена

пневмопривода. Система дифференциальных уравнений может решаться различными численными методами (Эйлера, Рунге-Кутта и т.п.) при заданных начальных условиях, параметрах привода и управляющих воздействиях, функционально зависящих от координаты выходного звена [7].

Моделирование процесса позиционирования осуществляли в программе Simulink Simscape (рис.5), которая является приложением к пакету MATLAB. При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель привода и осуществляет расчеты.

Компьютерная модель пневмопривода (рис.5) позволяет моделировать процесс позиционирования поршня поворотного пневмоцилиндра, который состоит из нескольких этапов (рис.6-9): подготовительный этап - 0-0,007 с (формирование сигнала управления и переключение пневмораспределителей), разгон поршня – 0,007- 0,065 с, торможение и останов поршня 0,065-0,087с. В результате вычислительного эксперимента получены зависимости скорости перемещения (рис.6), перемещения поршня поворотного пневматического цилиндра (рис.7), давление в напорной полости (рис.8) и в сливной полости цилиндра (рис.9).

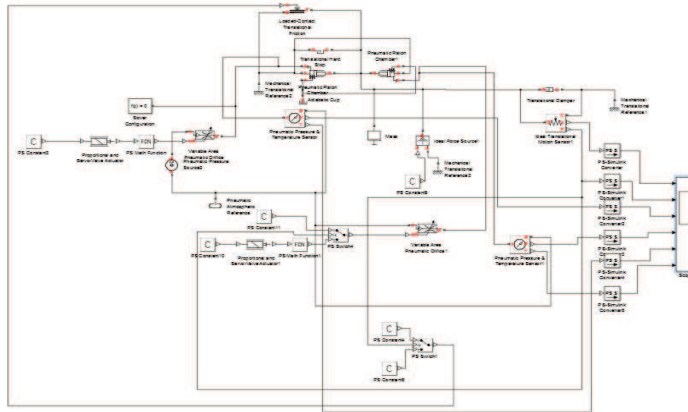


Рис. 5. Математическая модель

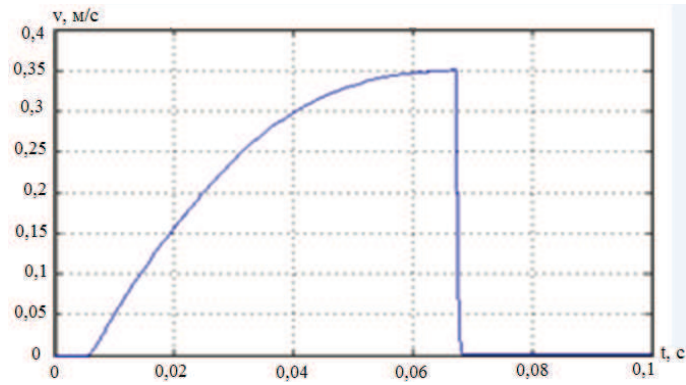


Рис. 6. Зависимость скорости перемещения поршня цилиндра от времени

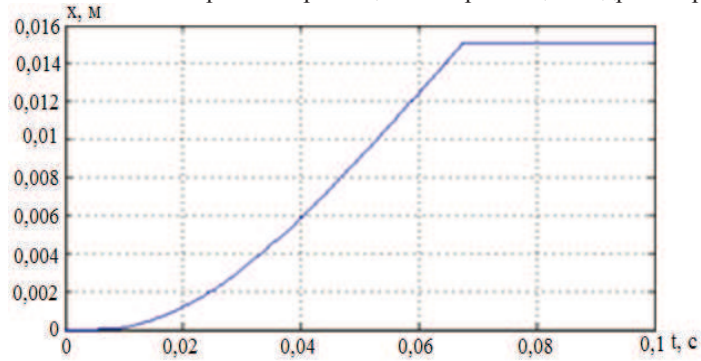


Рис. 7. Зависимость перемещения поршня цилиндра от времени

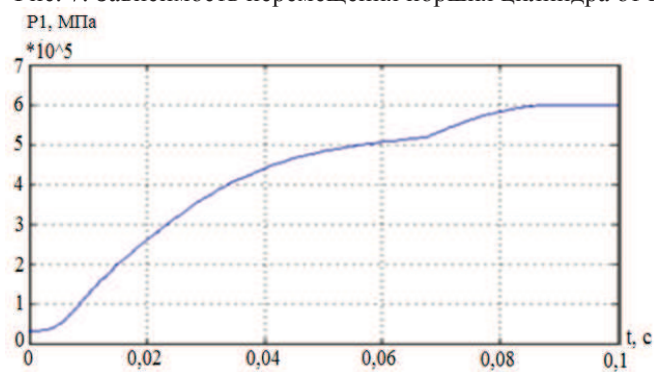


Рис. 8. Зависимость давления в напорной полости цилиндра от времени

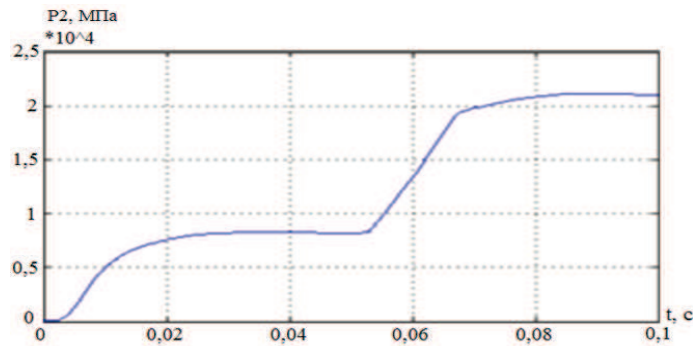


Рис. 9. Зависимость давления в выхлопной полости цилиндра от времени

Полученные результаты подтверждают функциональные возможности предлагаемого привода и позволяют оценить процессы, протекающие в нем при позиционировании поршня пневмоцилиндра. Полученная модель привода позволяет проводить вычислительный эксперимент при различных позиционных циклах. Координаты позиционирования задаются оператором в программе. Компьютерная модель может модернизироваться и корректироваться с целью введения иных управляющих воздействий и других параметров привода после проведения натурного эксперимента.

References:

- [1] Agricultural machines: theory, calculation, design, use: monograph. T. 7, Part 1: Driving agricultural machines / V.V. Radin [and others.] Azovochernomor. state. agroinzh. Acad. - Zernograd: ACHGAA, 2013. - 512 p.
- [2] Sidorenko V.S., Dymochkin D.D., Grishchenko V.I. Automated pneumatic actuator // Uch. allowance. M of Education and Science of the Russian Federation, the Federal State. byudzhethnoeobrazovatelnoe institutions of higher. prof. Education "Don State. Technical Univ." Rostov-on-Don, 2011.
- [3] Grishchenko V.I. Improving the accuracy of high-speed machines of fluid drive mechanisms // thesis for the degree of candidate of technical sciences. Don State Technical University. Rostov-on-Don, 2010.
- [4] Dao Anh Tkhe, D.D. Dymochkin, V.S. Sidorenko. Rotor position sensor for drives and machines high speed and accuracy // sb. V works Mezhsud. scientific. prac. Conf. / DSTU-Rostov n / d, 2014.- 134-142 p

- [5] Sidorenko V.S., Grishchenko V.I. Synthesis pneumatic-hydraulic positioning systems, high speed and accuracy// Hydropneumatics mobile and technological machines: Sat. rep. Intern. scientific-techn. conf., is dedicated. 25th Anniversary of the Department "and Hydro-gidropnevmoavtomatiki", 17-19 November. / National Technical University. - Minsk, 2010. - P. 209-215.
- [6] Grishchenko V.I., Sidorenko V.S. Simulation of the process of positioning actuators of the process equipment pneumohydraulic discrete device with pneumatic communication lines // Vestnik Don State Technical University. 2009. T. 9. № 52. p. 81-89.
- [7] Dynamic calculation of hydro-pneumatic: Textbooks (Chernavskii V.A., Kozhukhova A.V.) / DGTU.- Rek.UMO universities by university and polytechnic education, Rostov n / D 2009 -67 p.