

УДК 621.324

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ПОЗИЦИОННЫМ ПНЕВМОПРИВОДОМ
ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ***Г. А. Долгов, В. И. Грищенко*

Донской государственный технический
университет, Ростов-на-Дону, Российская
Федерация

grigorydolgov@yandex.ru

Рассматривается система управления позиционным пневмоприводом, предназначенная для управления энергетическими потоками трубопроводной арматуры; разработаны математическая и компьютерная модели, позволяющие оценить заданный процесс позиционирования выходного звена пневмопривода.

Ключевые слова: Система управления, позиционный пневмопривод, запорная арматура, пневматический датчик перемещения.

Введение. Эффективность управления современными энергосиловыми установками определяется точностью и временем выполнения задаваемых команд. В настоящее время функцию управления запорно-регулирующей аппаратурой осуществляет пневмопривод, управляемый программируемым логическим контроллером.

Система управления позиционным пневмоприводом запорной арматуры. Способы и техника управления таким устройством имеет ряд своих преимуществ [1,2]. Основным недостатком пневмопривода состоит в отсутствии плавности и точности хода без применения специальных регулирующих устройств [3]. В связи с этим предлагается позиционный пневмопривод (рис.1), состоящий из дискретных устройств электропневмоавтоматики, программируемого логического контроллера, позволяющего успешно решать задачу управления поворотными запорно-регулирующими элементами трубопроводной арматуры (рис.3).

UDC 621.324

**CONTROL SYSTEM FOR POSITIONAL
ACTUATOR VALVES***G. A. Dolgov, V. I. Greschenko*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

grigorydolgov@yandex.ru

The article analyses the control system of a position pneumatic actuator intended for the control of power streams of pipeline fittings. The mathematical and computer models, which make it possible to estimate the set process of positioning of an output link of a pneumatic actuator, are developed.

Keywords: control system, pneumatic positioner, valving, pneumatic motion sensor.

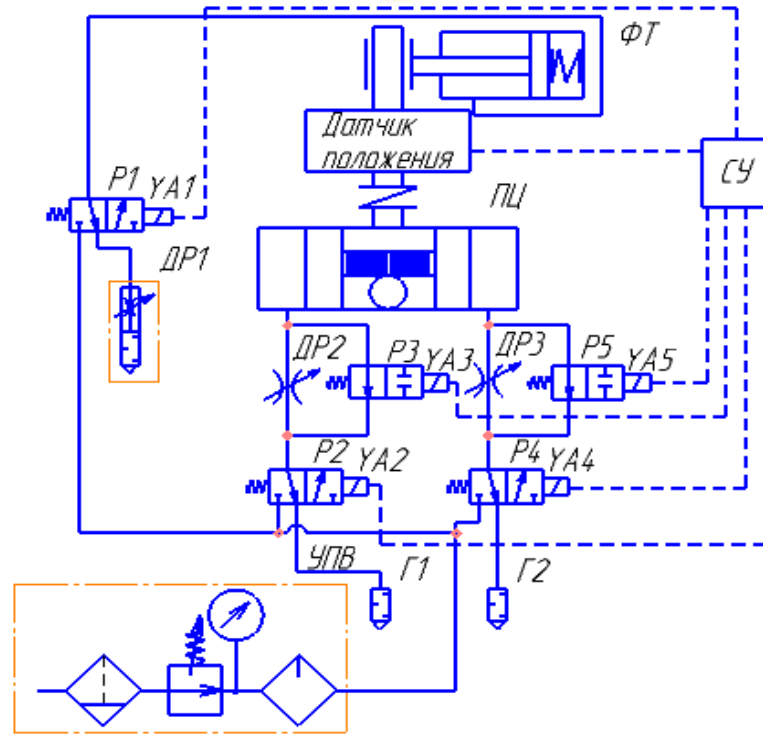


Рис. 1. Принципиальная схема позиционного привода: УПВ — узел подготовки воздуха, Г1, Г2 — глушители, P1–P5 — пневмораспределители, ПЦ — поворотный пневмоцилиндр, ФТ — фрикционный тормоз, ДП — датчик положения, СУ — система управления, YA1–YA5 — электромагниты, ДР1–ДР3 — дроссели.

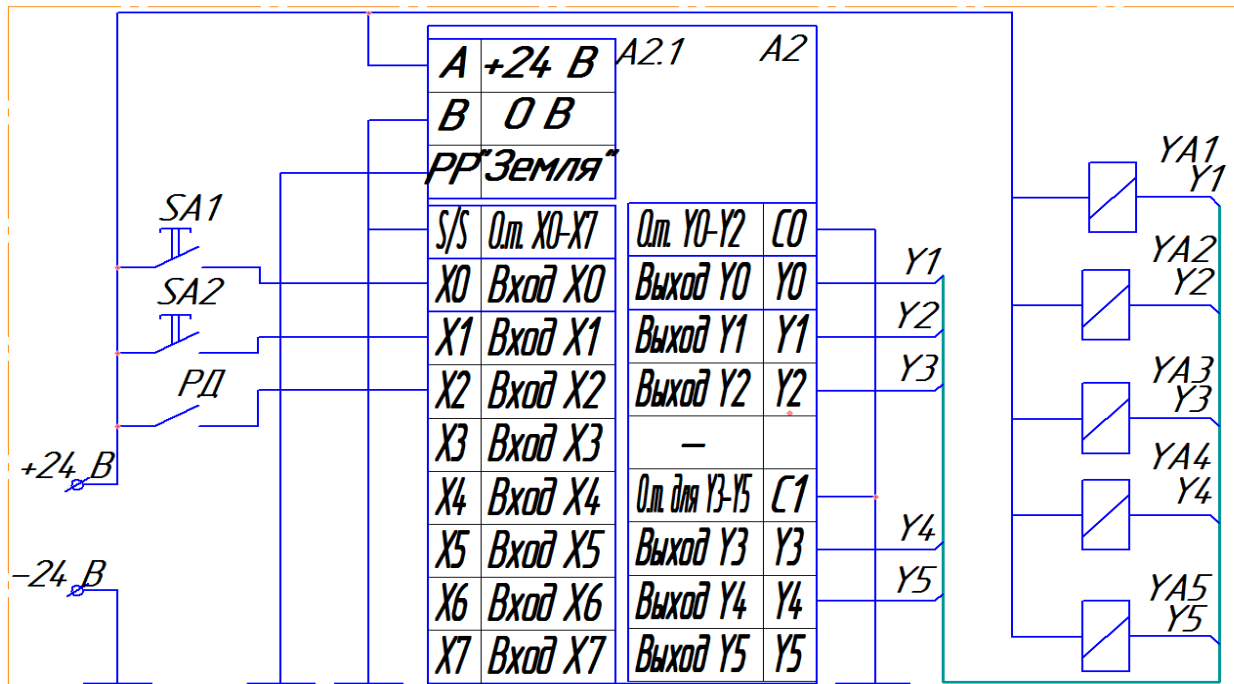


Рис. 2. Электрическая схема управления: кнопка SA1 — кнопка включения питания, кнопка SA2 — кнопка выключения питания, РД — реле давления.

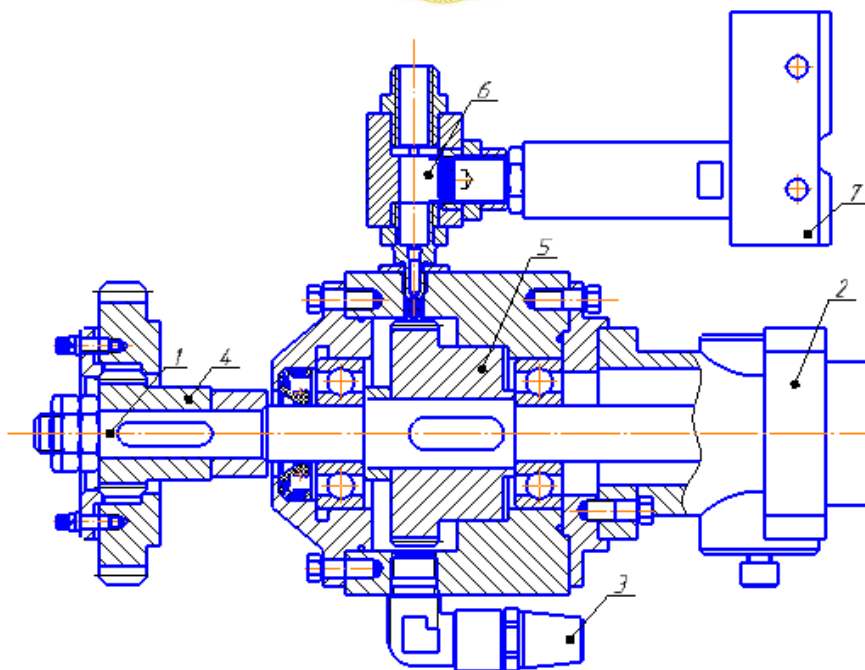


Рис. 3. Пневматический датчик для позиционных приводов: 1 — вал; 2 — фрикционный тормоз; 3 — глушитель; 4 — зубчатое колесо; 5 — модулятор; 6 — сопло; 7 — датчик давления.

Работа пневмопривода состоит в следующем (рис.3). Сжатый воздух от УПВ подается к распределителям P1, P2, P4. По команде контроллера, 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, кинематически связанного с поршнем цилиндра и рабочим органом запорной арматуры (заслонкой) возникает изменение давления на входе сопла (6), фиксируемое датчиком (7) давления [4]. Информация об изменении давления поступает на контроллер, который считает количество импульсов давления и сравнивает их с заданным значением. Дискрета датчика определяется количеством зубьев модулятора (5) (рис. 3) и передаточным отношением зубчатой передачи (5) (рис. 4). При достижении координаты начала торможения контроллер выдает команду на электромагнит YA5 распределителя P5. При этом увеличивается сопротивление движению газа из выхлопной полости пневмоцилиндра и начинается торможение поршня. При достижении поршнем заданного положения, датчик подает импульс давления на контроллер о том, что поршень достиг своей позиции. После этого контроллер посылает сигнал на отключение электромагнитов YA1, YA2 распределителей P1, P2 и происходит фиксация вала пневматического датчика и поршень останавливается.

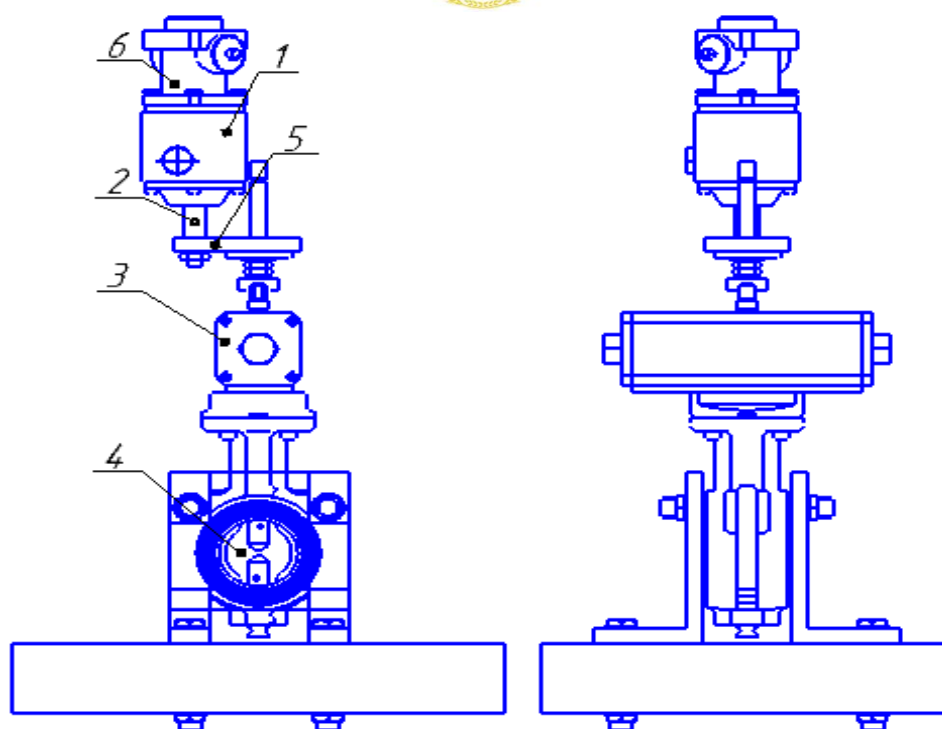


Рис. 4. Общий вид автоматизированного привода задвижки: 1 — универсальный пневматический датчик; 2 — вал; 3 — поворотный цилиндр; 4 — дисковый затвор; 5 — зубчатая передача; 6 — фрикционный тормоз.

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

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 5.) 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 усредненными; 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.

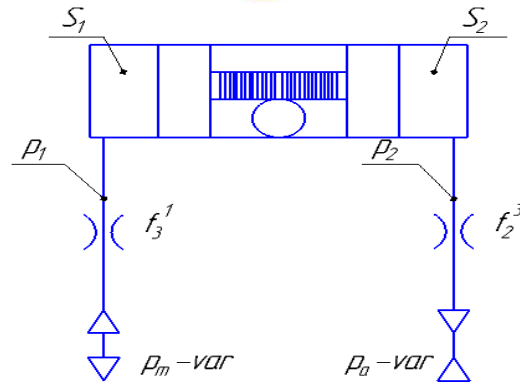


Рис. 5 Расчетная схема пневмопривода

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 уравнениями:

1. Уравнение давления воздуха в напорной полости

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{k \cdot \mu_1 \cdot f_1 \cdot K \cdot p_n \cdot \sqrt{R \cdot T_n} \cdot \phi(\sigma_1)}{S1_{\text{пл}} \cdot (X_{01} + X)} - \frac{k \cdot p_1}{(X_{01} + X)} \cdot V \quad (2)$$

2. Уравнение давления воздуха в выхлопной полости

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

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

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

$$K = \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1}}, \quad (4)$$

где 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, m^2 ;

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 (1–4), описывающую процесс позиционирования выходного звена пневмопривода. Система дифференциальных уравнений может решаться различными численными методами (Эйлера, Рунге–Кутты и т.п.) при заданных начальных условиях, параметрах привода и управляющих воздействиях, функционально зависящих от координаты выходного звена.

Моделирование процесса позиционирования осуществляли в программе Simulink Simscape (рис.6), 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.

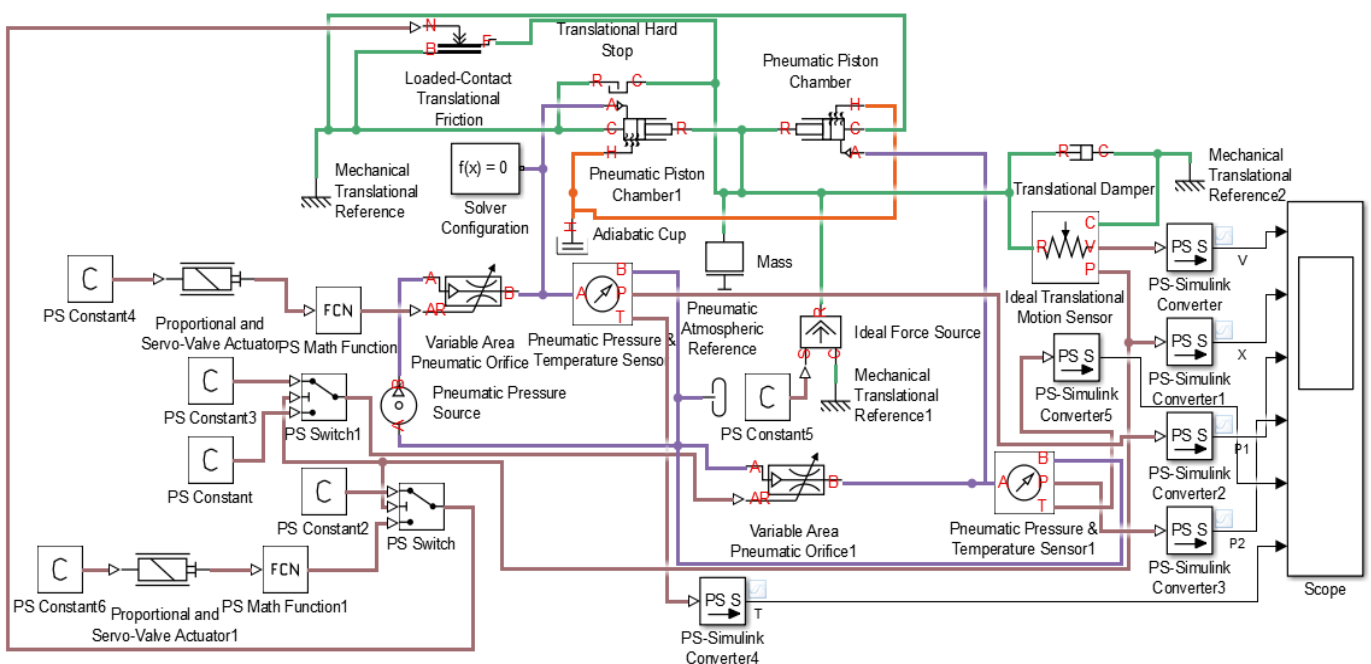


Рис. 6. Математическая модель

Компьютерная модель пневмопривода (рис.7) позволяет моделировать процесс позиционирования поршня поворотного пневмоцилиндра, который состоит из нескольких этапов (рис.7–10): подготовительный этап — 0–0,02 с (формирование сигнала управления и переключение пневмораспределителей), разгон поршня — 0,02–0,28 с, торможение и останов поршня 0,28–0,46с. В результате вычислительного эксперимента получены зависимости скорости перемещения (рис.7), перемещения поршня поворотного пневматического цилиндра (рис.8), давление в напорной полости (рис.9) и в сливной полости цилиндра (рис.10).

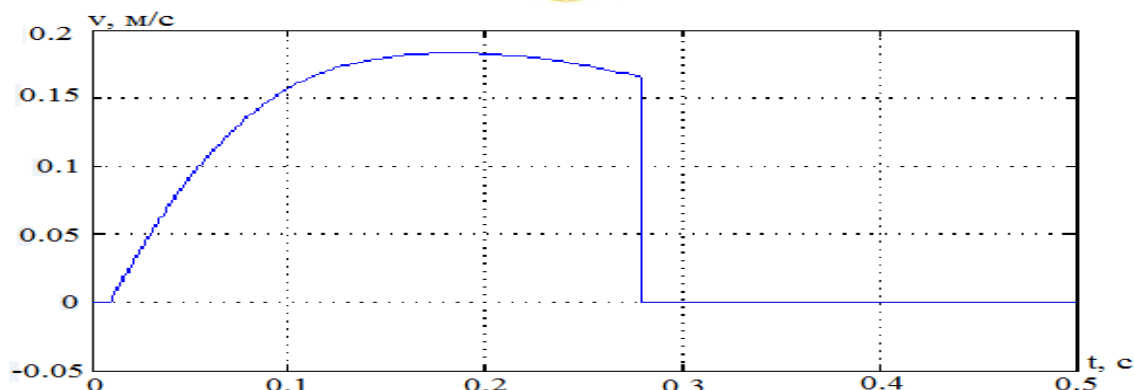


Рис. 7. Зависимость скорости перемещения поршня цилиндра от времени

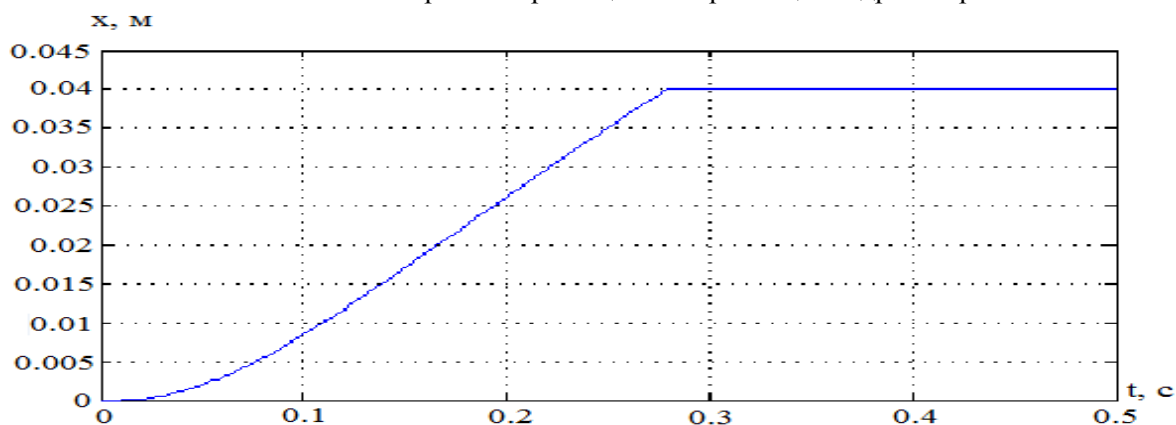


Рис. 8. Зависимость перемещения поршня цилиндра от времени

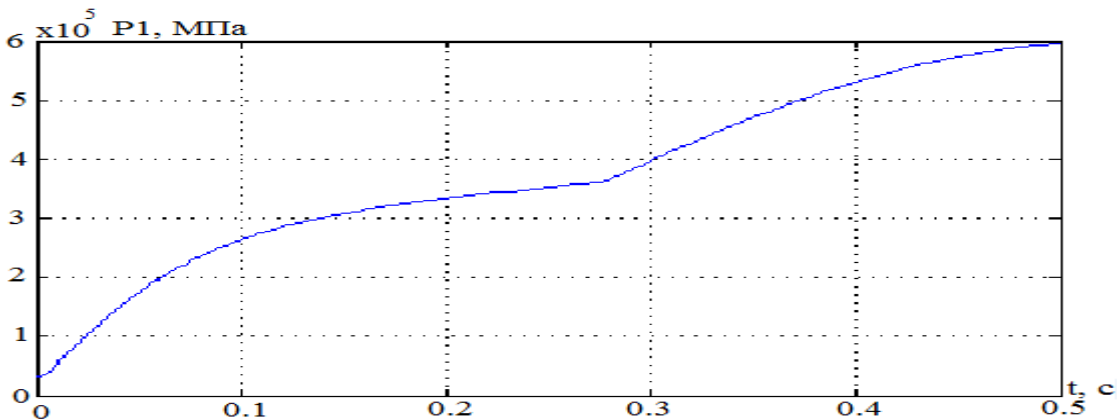


Рис. 9. Зависимость давления в напорной полости цилиндра от времени

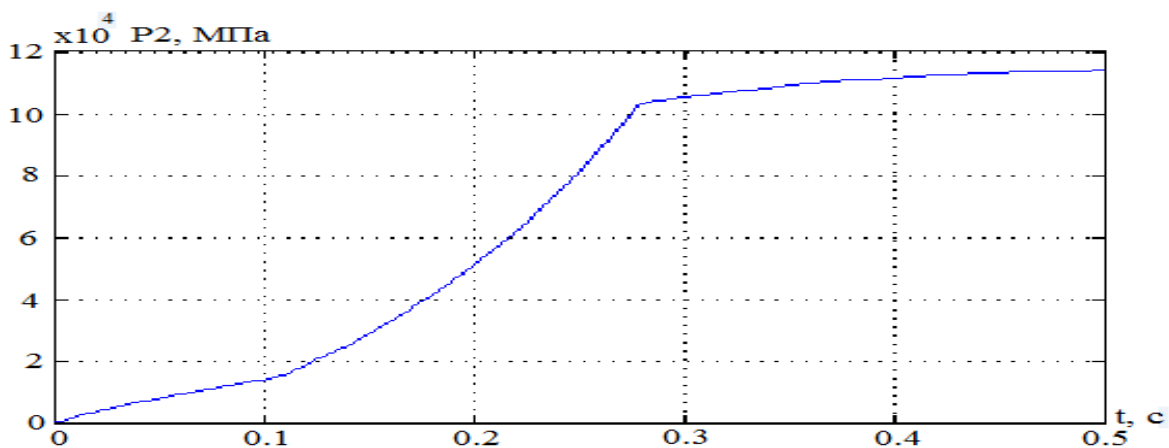


Рис. 10. Зависимость давления в выхлопной полости цилиндра от времени

Заключение. 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.

Библиографический список.

1. Сельскохозяйственные машины: теория, расчет, конструкция, использование: монография / В. В. Радин [и др.] // Привод сельскохозяйственных машин — Т. 7, ч. 1 — зерноград : АЧГАА, 2013. — 512 с.
2. Сидоренко, В.С. Автоматизированный пневматический привод: учебное пособие / В. С. Сидоренко, Д. Д. Дымочкин, В. И. Грищенко — Ростов-на-Дону : 2011. — 160с.
3. Грищенко, В. И. Повышение точности быстродействующего пневмогидравлического привода механизмов машин// диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Донской государственной технической университет. — Ростов-на-Дону, 2010.
4. Дао Тхе Ань Пневмомеханический датчик для позиционных приводов и машин повышенного быстродействия и точности / Дао Тхе Ань, Д. Д. Дымочкин, В. С. Сидоренко // сборник трудов V Международной студенческой научно-практической конференции — Ростов н/Д, 2014. — С. 134–142.
5. Сидоренко, В. С. Синтез пневмогидравлических позиционирующих систем повышенного быстродействия и точности / В. С. Сидоренко, В. И. Грищенко // Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин: сборник докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 25-летию кафедры «Гидропневоавтоматика и гидропневмопривод» — Минск : БНТУ, 2010. — С. 209–215.
6. Грищенко, В. И. Моделирование процесса позиционирования исполнительных механизмов технологического оборудования дискретным пневмогидравлическим устройством с пневматическими линиями связи / В. И. Грищенко, В. С. Сидоренко // Вестник Донского государственного технического университета. — Т. 9, № 2. — 2009. — С. 81–89.