

УДК 658.011.56:621.979.001.57

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПНЕВМОПРИВОДОВ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНЫХ МАШИН И КОМПЛЕКСОВ

Володина Ольга Анатольевна

*Студентка 5 курса, магистр 1 года,
Кафедра «Системы пластического деформирования»
Московский Государственный Университет «СТАНКИН»*

*Научный руководитель: А.М.Смирнов,
Кандидат технических наук, профессор кафедры «Системы пластического деформирования»*

Пневматические приводы получили широкое применение при автоматизации производственных процессов в общем машиностроении и станкостроении, в транспортном и полиграфическом машиностроении, в литейном и кузнечном производстве[1,2].

Пнеумоустройства используют в качестве приводов зажимных и транспортирующих механизмов. В первом случае привод называется силовым и используется, например, в робототехнике в схватах манипуляторов, во втором случае привод называется кинематическим. По сравнению с другими индивидуальными приводами широкое применение пневмоприводов объясняется такими их преимуществами как, надёжность функционирования, простота конструкции, сравнительная лёгкость их эксплуатации и ремонта. Они относительно дешёвы и являются гибким средством при автоматизации производственных процессов, обеспечивая воспроизведение поступательного движения без каких-либо передаточных механизмов.

Минусы связаны с ограничениями по создаваемым технологическим силам.

В кузнечно-штамповочном производстве пневматические приводы работают с высокими скоростями и при этом должны обеспечивать высокую точность позиционирования.

Одним из важных вопросов, решаемых при проектировании пневмоприводов (особенно приводов перемещения) является гашение скорости к концу хода. Это обеспечивается применением резиновых прокладок или пружин, воспринимающих удар в конце хода поршня, или повышением давления в полости противодействия так же в конце хода. Но применение прокладок и пружин приводит к снижению точности позиционирования заготовки из-за отскока поршня и связанных с ним масс при упругом ударе. Поэтому в быстродействующих приводах для гашения скорости используют метод повышения давления, который может быть осуществлен двумя способами:

- использованием тормозных золотников;
- использованием дроссельных устройств (внутренних тормозных устройств).

На рис. 1 представлена обобщенная структурная схема привода, которая включает силовой цилиндр и аппаратуру управления.

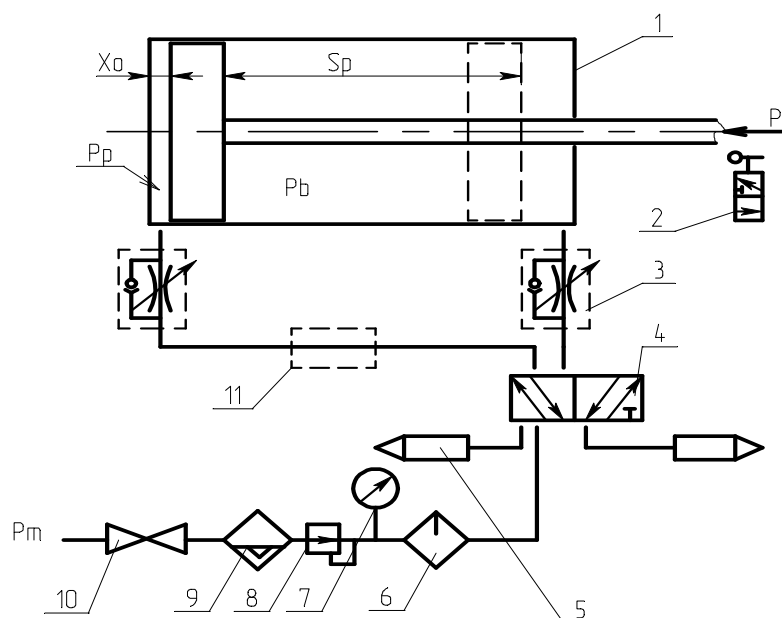


Рис.1 Структурная схема пневмопривода (1 - цилиндр; 2 – конечный выключатель; 3 – дроссель; 4 – воздухораспределитель; 5 – глушитель; 6 – масляный распылитель; 7 – манометр; 8 – регулятор давления; 9 – масляный распылитель; 10 – кран; 11 – тормозной золотник)

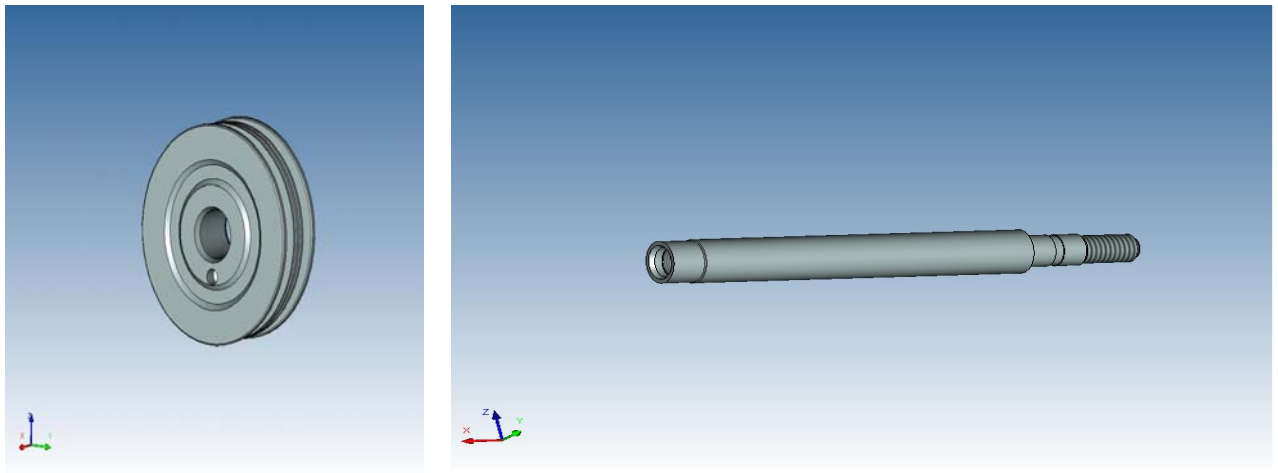
Высокая производительность автоматизированного кузнечно-штамповочного оборудования предъявляет повышенные требования к быстродействию приводов. Поэтому применяемые методы приближенных расчетов времени цикла не всегда удовлетворяют требованиям заказчика. Кроме того, на точность расчета оказывает влияние и достоверность сведений о фактических размерах и массах подвижных частей.

В задачу настоящей работы входило:

1. Разработка алгоритма расчёта и проектирования пневмопривода.
2. Подготовка программы на языке C++ по расчёту времени цикла работы пневмопривода с учетом фактических размеров силовых цилиндров и параметров аппаратуры управления.

Для анализа динамики привода с учетом фактических физических характеристик деталей пневмоцилиндра были использованы параметрические 3D-модели деталей, примеры которых приведены на рис.2. В качестве графического пакета использовался TFLEX CAD 3D. Разработка параметрических моделей деталей тормоза основывалась на известных методиках проектных и проверочных расчетов деталей [1,2]. Также использовались эмпирические зависимости, полученные на основании

анализа существующих конструкций пневматических цилиндров, на базе которых были созданы 3D модели деталей и сборочного узла.



а)

б)

Рис.2 Параметрические 3D-модели деталей «поршень» (а) и «шток» (б)

Алгоритм расчёта и проектирования пневмопривода включает следующие модули:

- Модуль «формирование исходных данных» (разработка системы объекта; уточнение структуры элементов объекта в соответствии с обобщенной скелетной схемой, показанной на рис.3. и определение взаимосвязи между элементами структуры объекта создание необходимой базы данных стандартных элементов).
- Модуль « расчёт конструктивных параметров» (определение расчётного диаметра цилиндра, расчёт размеров трубопроводов и проходных сечений отверстий подводящей и выхлопной магистралей)
- Модуль « динамические расчёты» (определение параметров движения, давления в рабочей полости и полости подпора, сил активного сопротивления, составляющих времени цикла и построение графиков переходных процессов)
- Модуль « формирование исходных данных для создания рабочих чертежей» (в редактор переменных рабочих чертежей и сборочного узла передаются уточненные параметры системы пневмопривода, а также уточненная схема привода)

Скелет структурной схемы пневмопривода

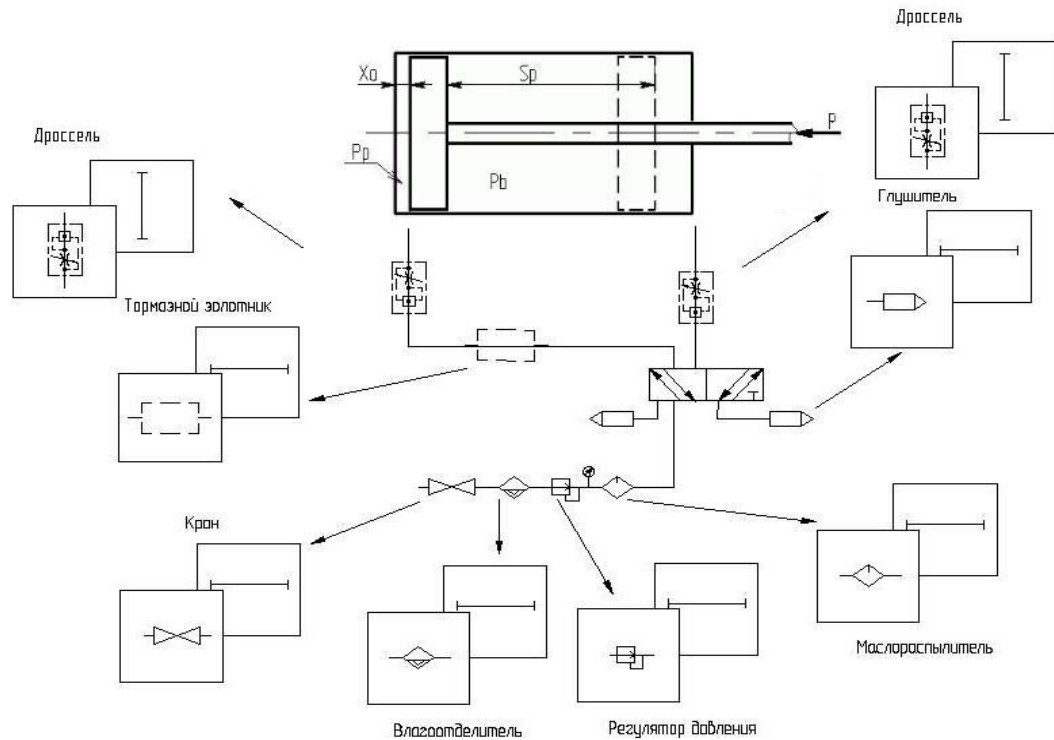


Рис.3. Обобщенная скелетная схема системы управления приводом

При разработке математической модели были использованы следующие зависимости:

1. Основным параметром исполнительного устройства привода является диаметр силового цилиндра, который либо задается проектантом, либо определяется в соответствии с практическими рекомендациями:

$$d_u = \sqrt{\frac{4P_T}{\pi\eta p_p}} \quad (1),$$

где P_T – нагрузка, приведенная к штоку поршня; η – конструктивный параметр, соответствующий работе привода в оптимальном режиме; p_p – давление воздуха в наполнительной магистрали.

2. Диаметр проходного сечения трубопроводов также либо задается проектантом, либо рассчитывается с учетом принятых ограничений по скорости перемещения выходного звена исполнительного механизма и времени движения:

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{u_o d_u^2}{10^4 \mu_s}} \quad (2),$$

где μ_s – коэффициент расхода, принимаемый на этапе предварительных расчетов равным 0,25–0,30;

u_o – скорость движения подвижных частей, определяемая из выражения:

$$u_o = \frac{(1 + k_1) S_p}{t_p} \quad (3),$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий условия разгона и торможения;

S_p – рабочий ход поршня;

t_p – ограничение по времени, обусловленное частотой ходов кузнечно-штамповочной машины.

По размеру проходного сечения подбирается конкретная модель элементов аппаратуры управления.

3. Динамические расчёты проводят с использованием уравнений теплового баланса в рабочей полости (4) и полости подпора (5) и обобщенного уравнения движения (6).

$$P_{pi} = P_{pi-1} + \frac{k}{\frac{W_{op}}{F_p} + x_{i-1}} \left(\frac{G_{pi} R T_p}{F_p} + P_{pi-1} u_{i-1} \right) \Delta t \quad (4),$$

где P_{pi-1} – значение текущего давления в рабочей полости; k – показатель адиабаты; W_{op} – начальный объем рабочей полости; F_p – активная площадь поршня со стороны рабочей полости; R – газовая постоянная; T_p – температура воздуха в рабочей полости; u_{i-1} – скорость движения подвижных частей; Δt – принятый шаг приращения времени

при вычислительных процессах; x_{i-1} – текущая координата положения поршня; G_{pi} – расход воздуха, поступающего в рабочую полость.

$$P_{ai} = P_{ai-1} + \frac{k}{\frac{W_{ae}}{F_a} - x_{i-1}} \left(P_{ai-1} u_{i-1} - \frac{G_{ai} R T_a}{F_a} \right) \Delta t \quad (5),$$

где P_{ai} – значение текущего давления в полости подпора; W_{ao} – начальный объем полости подпора; F_a – активная площадь поршня со стороны полости подпора; G_a – расход воздуха, выходящего из полости подпора; T_a – температура воздуха в полости подпора.

$$a_i = \frac{P_{pi}F_p - P_{ai}F_a - C_{np}x_{i-1} - P_\tau - P_{тр}}{m} \quad (6),$$

$$u_i = u_{i-1} + a_i \Delta t \quad (7),$$

$$x_i = x_{i-1} + u_i \Delta t + \frac{a_i \Delta t^2}{2} \quad (8),$$

где C_{np} – приведенная жесткость механизма возврата одностороннего пневмопривода; P_τ – тяговое усилие; $P_{тр}$ – суммарное значение сил трения в уплотнениях; m – масса подвижных частей, приведенная к штоку.

Обобщённое уравнение движения применяется как для одностороннего так и для цилиндров двухстороннего действия. В первом случае будет отсутствовать слагаемое, соответствующее давлению в полости подпора. Во втором случае будет отсутствовать пружина, а следовательно $C_{np}x_{i-1} = 0$.

Время хода поршня определяется по формуле:

$$t_x = t_a + t_a + t_n + t_{ав} + t_z \quad (9),$$

где t_a – время срабатывания аппаратуры управления, определяемое паспортными данными; t_a – время распространения волны давления от распределителя до рабочей полости;

t_n – время подъема давления до величины, достаточной для преодоления сил статического сопротивления; $t_{ав}$ – время движения поршня;

t_z – время заключительного периода, соответствующее подъему давления до заданного значения (определяется только для силовых пневмоприводов).

Составляющие времена t_n , $t_{ав}$ и t_z определяются путем совместного решения уравнений (4), (5), (6) при следующих ограничениях:

1. для времени наполнения:

$$a_i = u_i = x_i = 0; P_{pi}F_p < P_{ai}F_a + P_\tau + P_{тр} + C_{np}x_o$$

2. для времени движения:

$$x_i \leq S_p$$

3. для времени заключительного периода:

$$x_i = S_p; a_i = u_i = 0; p_{pi} \leq p_m$$

На основе предложенного алгоритма и математических моделей была разработана программа на языке Си++, позволяющая моделировать динамические процессы в пневмоприводе. На рис.4 представлены графики переходных процессов, происходящих в приводе.

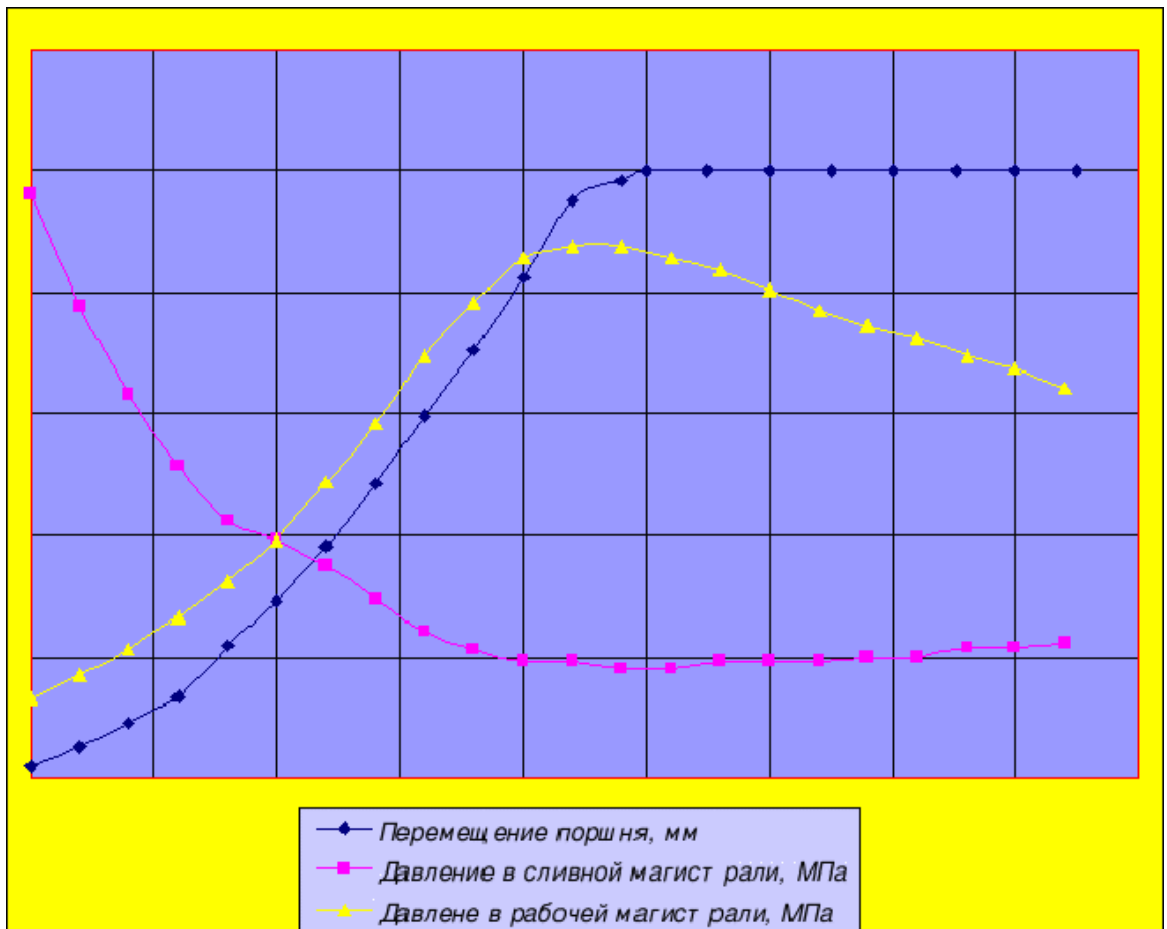


Рис.4 Графики переходных процессов

Всё проектирование при этом будет происходить в одной среде (в данном случае Windows), появляется возможность вводить дополнительные расчёты (например, проверочные формулы, позволяющие учитывать различные параметры, такие как трение и его влияние).

Выводы:

1. Предложен алгоритм расчёта и проектирования пневмопривода.
2. Разработана программа на языке C++ по расчёту параметров работы пневмопривода.

Литература

1. *Герц Е.В., Крейнин Г.В.* Динамика пневматических приводов машин-автоматов. М.: Машиностроение, 1964. 235 с.
2. *Смирнов А.М.*, Автоматизация проектирования и моделирование работы средств автоматизации кузнечно-штамповочных машин и комплексов // «Кузнечно-штамповочное производство» 1993, №4 с.30-33.