

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»
(Самарский университет)

Институт двигателей и энергетических установок
Кафедра автоматических систем энергетических установок

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

«РАЗРАБОТКА СЛЕДЯЩЕГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА»

по направлению подготовки 24.04.05 Двигатели летательных аппаратов
(уровень магистратуры)

направленность (профиль) «Мехатронные и пневмогидравлические агрегаты
и системы»

Студент _____ Полухина Мария Ивановна

Руководитель ВКР,

профессор, д.т.н. _____ Иголкин Александр Алексеевич

Нормконтролер _____ Сафин Артур Ильгизарович

Самара 2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»
(Самарский университет)

Институт двигателей летательных аппаратов

Кафедра «Автоматические системы энергетических установок»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ (Е.В. Шахматов)

«___» _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

(магистр)

студентке _____ Полухиной Марии Ивановне

группа № _____ 2222-240405D

1. Тема ВКР: Разработка следящего пневматического привода
утверждена приказом по университету от «___» _____ 20__ г. № _____

2. Цель работы (и/или исходные данные) Цель работы - улучшение характеристик следящего пневматического привода путем настройки PID-регулятора. Разработка следящего пневматического привода в исполнении с четырьмя клапанами типа 2/2. Рабочее тело - воздух, давление и температура постоянны, потери энергии в математической модели не учитываются. Ход штока пневмоцилиндра - 400 мм, давление в системе - 6 бар, управление при помощи контроллера NI USB 6001.

3. Структурные части работы (перечень вопросов, подлежащих разработке)

а). Обзор существующих решений.

б). Разработка структурной схемы с пневматическим следящим приводом.

в). Разработка принципиальной электрической схемы в программном обеспечении AutoCAD Electrical.

г). Настройка PID-регулятора.

д). Разработка модели пневматической системы следящего привода с возможностью отслеживания положения штока, значения управляющего сигнала, скоростью движения штока в программном обеспечении SimulationX.

е). Разработка презентации ВКР в формате *.ppt.

4. Дата выдачи задания: « ___ » _____ 20__ г.

5. Срок представления на кафедру законченной ВКР: « ___ » _____
20__ г.

Научный руководитель

Д.т.н. профессор каф. АСЭУ

_____ А.А. Иголкин

« ___ » _____ 20__ г.

Задание принял к исполнению

_____ М.И. Полухина

« ___ » _____ 20__ г.

Руководитель цикла

Д.т.н. профессор каф. АСЭУ

_____ Г.М. Макарьянц

« ___ » _____ 20__ г.

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1 Литературно-патентный обзор. Обоснование актуальности темы проекта...	7
1.1 Преимущества и недостатки пневматических систем	7
1.2 Следящий пневматический привод.....	9
1.3 Анализ существующих работ и решений	12
2 Анализ работы устройства.....	17
3 Разработка структурной схемы с пневматическим следящим приводом	19
4 Разработка принципиальной пневматической и электрической схем	22
4.1 Разработка принципиальной пневматической схемы автоматизированной системы управления следящим приводом	22
4.2 Разработка принципиальной электрической схемы автоматизированной системы управления следящим приводом.....	25
5 Настройка PID-регулятора.....	29
6 Разработка модели в SimulationX.....	34
6.1 Результаты построения модели	36
6.2 Влияние параметров на давление в полостях	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	45
ПРИЛОЖЕНИЕ А	47

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная магистерская работа

Пояснительная записка: 49 страниц, 1 таблица, 24 рисунка, 10 источников, 1 приложение.

СЛЕДЯЩИЙ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПРИВОД, ПНЕВМОЦИЛИНДР, ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ.

Объектом разработки является следящий пневматический привод.

Цель работы: разработать следящий пневматический привод обеспечивающий позиционирование штока пневмоцилиндра.

В ходе работы были разработаны структурная и принципиальная пневматическая и электрическая схемы следящего пневматического привода, смоделировано его поведение в программном комплексе SimulationX, а также проведено исследование влияния некоторых параметров системы на давление в полостях пневмоцилиндра.

ВВЕДЕНИЕ

Следящий пневматический привод предназначен для пропорционального управления положением механических объектов различного типа, в том числе затворов запорно-регулирующих механизмов. Регулировка осуществляется согласно параметрам, которые принимаются на входной управляющий сигнал с какого-либо источника. Пневматический привод состоит из блока управления и датчика положения, который закреплен на пневмоцилиндре.

Современный промышленный электропневматический следящий привод представляет собой сложную динамическую систему, которая состоит из механических, пневматических, электрических, информационно-измерительных и микропроцессорных элементов.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка следящего пневматического привода и исследование влияния различных параметров на давление в полостях пневмоцилиндра.

1 Литературно-патентный обзор. Обоснование актуальности темы проекта

В качестве элемента, который передает усилие на различные механизмы, на сегодняшний день в промышленности чаще всего используются гидравлические и пневматические приводы. Пневматический вид привода на сегодняшний день активно используется в легкой промышленности, машиностроении и других областях.

1.1 Преимущества и недостатки пневматических систем

Пневматические устройства (пневмоприводы) используются для решения сложных задач по автоматизации управления машин и для производственных процессов. Они имеют преимущества в тех случаях, когда требуется осуществить быстрые перемещения, а также когда применение гидравлических приводов с масляной рабочей средой недопустимо по требованиям пожарной безопасности, как, например, в угольных шахтах и в ряде химических производств [1].

К основным преимуществам пневматических устройств относятся:

- относительная простота конструкции и обслуживания (воздух, отработав цикл, выпускается непосредственно в атмосферу без отводящих трубопроводов), а, следовательно, низкая стоимость и бытовая окупаемость затрат;
- устройства надежно работают в широком диапазоне температур, а также в условиях высокой влажности и запыленности окружающей среды;
- длительный срок службы, который достигает 10000-20000 ч (от 10 до 50 млн. циклов);
- высокая скорость перемещения выходного звена, открытие/закрытие, а также возможность ее регулировать (линейного до 15 м/с, вращательного до 100000 об/мин);

- пожаро- и взрывобезопасность, благодаря этому пневмопривод не имеет конкурентов во взрывоопасных условиях эксплуатации (например в шахтах, в химическом производстве);

Но пневмосистемы также обладают рядом недостатков, которые вытекают из природы рабочей среды – воздуха. Так как воздух обладает высокой сжимаемостью, при сжатии он накапливает энергию, которая при известных условиях может превратиться в кинетическую энергию движущихся масс и вызвать ударные нагрузки.

Вследствие этого пневматические силовые системы обеспечивают специальными дополнительными средствами, обеспечивающими плавность и точность хода. Так как воздух сжимается, в пневмосистемах невозможна долговременная фиксацию органов управления в заданных промежуточных положениях. Также в пневмоприводе достаточно трудно получить при переменной нагрузке равномерную и стабильную скорость. Помимо этого, для пневмоприводов требуется применение смазочных устройств, а также они имеют, как правило более низкий КПД в сравнении с гидроприводами.

Для действительно эффективной работы пневматические привода должны иметь определенные параметры для каждой задачи. Из-за этого они не всегда могут использоваться для других задач. Точное управление и эффективность требуют распределители и вентили соответствующего размера для каждого случая, что в большинстве случаев исключает взаимозаменяемость с другими и приводами и, вследствие этого, увеличивает стоимость. Для конкретного подбора пневмопривода необходимо знать следующие данные: максимальное усилие которое оказывается на шток (или крутящий момент) и давление в пневмомагистрали которое подводится к приводу.

1.2 Следящий пневматический привод

Следящий пневмопривод – это пневмопривод с ручным или автоматическим управлением, в котором регулируемый параметр выходного звена изменяется по определенному закону в зависимости от внешнего воздействия, значение которого заранее неизвестно. Привод состоит из блока управления и датчика положения, закрепленного на пневмоцилиндре [2].

Современный промышленный электропневматический следящий привод представляет собой сложную динамическую систему, состоящую из механических, пневматических, электрических, информационно измерительных и микропроцессорных элементов.

Позиционирование объекта осуществляется за счёт запираания обеих полостей цилиндра в момент движения. Это решение является эффективным для многих отраслей промышленности, где достаточно невысоких скоростей перемещения объекта управления (меньше 50 мм/с) при погрешности позиционирования 1-5 мм. Примером построенного по такому принципу пневмопривода является серийно выпускаемый электропневматический следящий привод компании Camozzi, широко применяемый в ряде отраслей промышленности (рисунок 1.1б). Устройство управления такого привода базируется на промышленном логическом контроллере (ПЛК), который выдает дискретные команды на управляющую часть электропневматического распределителя со структурой 5/3 с закрытым центром (рисунок 1.1а).

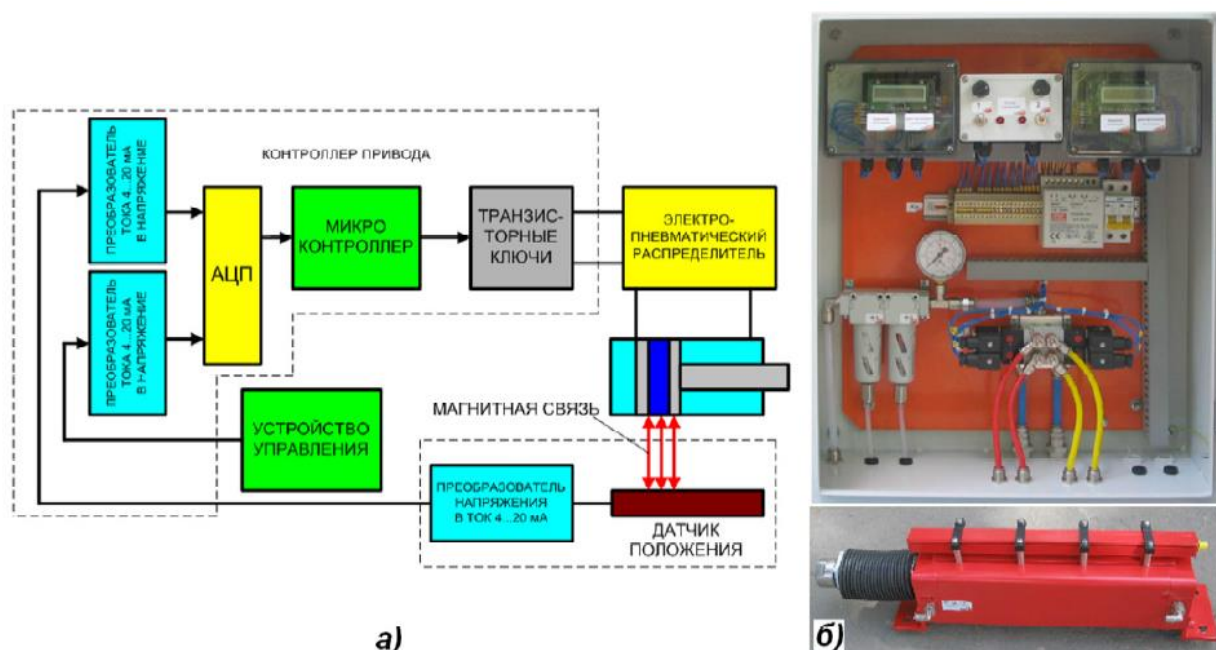


Рисунок 1.1 – Структурная схема следящего электропневматического привода с микроконтроллером (а) и его фотография (б)

В настоящее время пневматические приводы широко и эффективно используются в промышленности. Область их применения самая разнообразная: пищевая, упаковочная отрасль, медицина, станкостроение, робототехника, металлургия и тяжелая индустрия. По некоторым оценкам от 70 до 80 % от общего количества приводов, которые используются в промышленности, являются пневматическими [3]. С помощью пневматического привода может осуществляться упаковка, зажим, сортировка деталей, фиксация, прессование, транспортирование материалов и деталей, выдавливание, вытягивание, разрезание, дозировка, изменение направления потоков материалов и деталей, поворот, вращение и переворачивание деталей, открытие и закрытие дверей, манипулирование, шторок, дисковых и шиберных заслонок, затворов, шаровых кранов, контроль, функционирование двигательной системы мобильных роботов и др. При этом применяются все классы пневматических приводов: цикловые, позиционные и следящие.

В горнодобывающей промышленности и металлургии пневматический привод выполняет важную роль средства управления затворной арматурой

(отсечные клапаны, шторы, затворы, шаровые краны, дисковые и шиберные заслонки). Нанесение специальных полиуретановых покрытий, а также изготовление цилиндров из коррозионностойких сталей позволяет использовать пневматические приводы на рудных производствах по добыче и переработке никеля, кобальта, калийных и натриевых солей. На рисунке 1.2 приведены фотографии пневматических приводов которые эффективно работают в условиях щелочных сред.

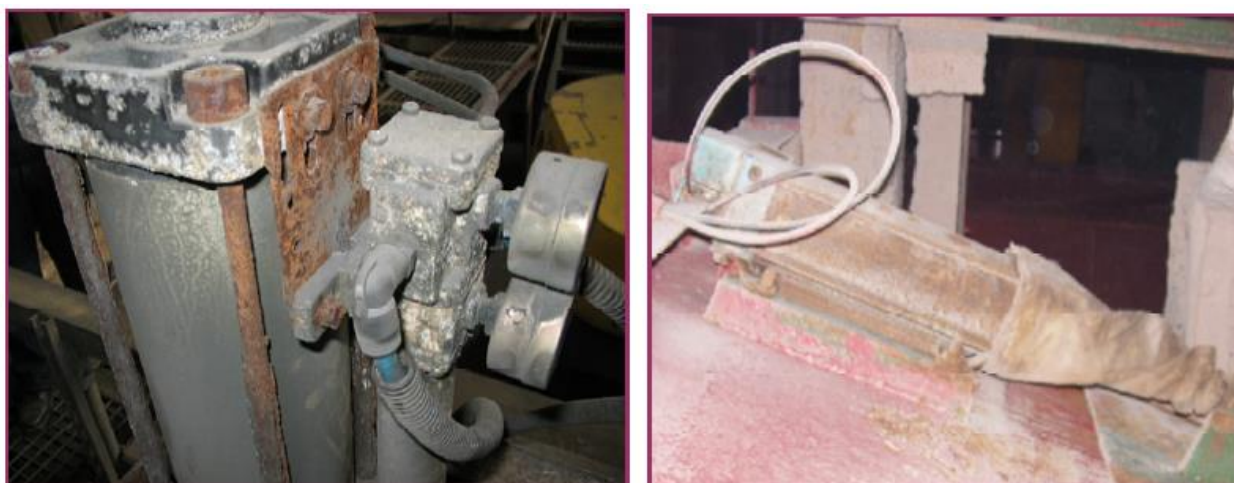


Рисунок 1.2 – Применение пневматического следящего привода при переработке калийных и натриевых руд

1.3 Анализ существующих работ и решений

Анализ существующих работ и решений представляет собой совокупность операций по поиску, отбору и анализу описаний отечественных и зарубежных патентов, научно-технической и другой литературы.

Поиск выполняется для того, чтобы выяснить состояние научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по рассматриваемой проблеме.

Была найдена следующая литература по исследованию следящих пневматических приводов:

В 1980 г. был запатентован пневматический следящий привод содержащий двухпозиционный четырехлинейный распределитель [4].

И.Б. Филлипов, Б.Б. Бежанов и О.В. Ронжин отметили, что недостатком такого пневмопривода является малая точность позиционирования и целью изобретения было повышение точности позиционирования.

Были приняты следующие решения: с целью повышения точности позиционирования на штоке пневмоцилиндра были установлены лекала, а в пневматических линиях устанавливались управляемые трехлинейные следящие золотники, нормально открытые окна каждого из которых связаны с распределителем посредством параллельно установленных редуктора давления и обратного клапана (рисунок 1.3).

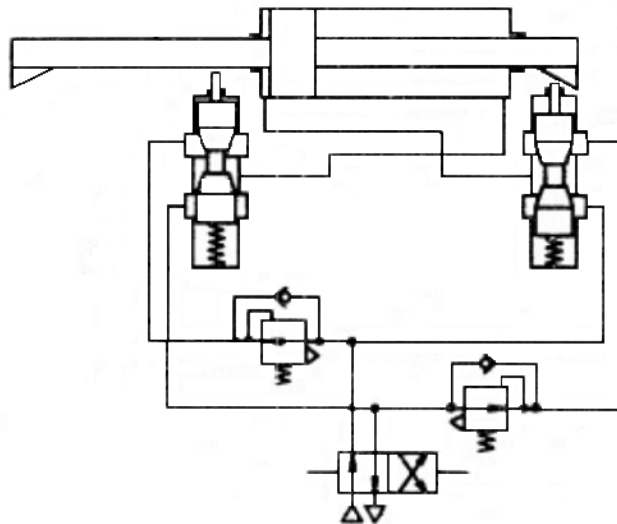


Рисунок 1.3 - Пневматический следящий привод содержащий двухпозиционный четырехлинейный распределитель

В 1989 году Ломовцев Владислав Георгиевич и др. также обратили внимание на недостаточное быстродействие следящего пневмопривода. Их изобретение [5] касается автоматического управления и может быть использовано в промышленных роботах и манипуляторах.

С целью повышения быстродействия он содержит четыре вихревых усилителя, четыре управляющие заслонки и приводное колесо. Каждый из вихревых усилителей содержит тангенциальный канал, который соединяется с источником рабочего тела, осевой выходной канал, соединенный со своей парой цилиндров, и четыре отверстия для сброса (рисунок 1.4). Каждая заслонка выполнена в виде колеса, в которых выполнены четыре отверстия.

При открывании отверстий для сброса за счет инжекции при закрученном газовом потоке в цилиндрической камере вихревого усилителя происходит уменьшение давления, и оно становится меньше атмосферного. Это вызывает увеличение скорости опорожнения рабочих камер цилиндров волнообразователя, тем самым уменьшается постоянная времени опорожнения этих камер и повышается быстродействия следящего привода.

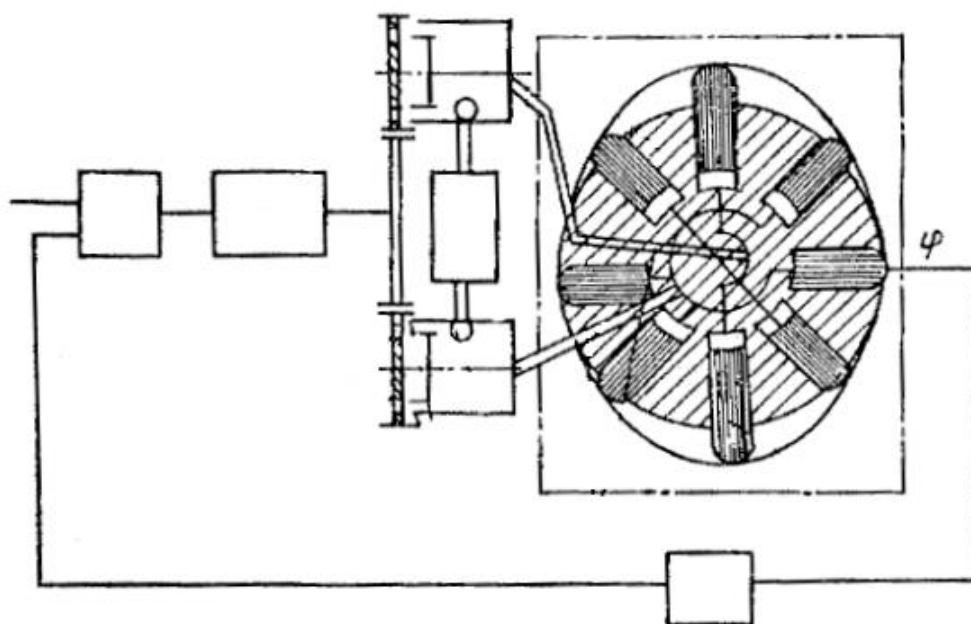


Рисунок 1.4 – Следящий привод с вихревым усилителем

В 1978 году Булахов Олег Михайлович и Гостев Борис Иванович предложили упростить конструкцию следящего пневмопривода [6]. Указанная цель достигается тем, что узел обратной связи выполнен в виде дополнительного цилиндра с поршнем, который связан со вторым концом пружины обратной связи. На штоке рабочего пневматического цилиндра устанавливаются два конечных выключателя, между которыми размещается упор.

Таким образом, положение поршня со штоком рабочего пневмоцилиндра соответствует положению поршня со штоком пневматического цилиндра дополнительного, а положение поршня пневматического цилиндра дополнительного определяется величиной сигнала $P_{ком}$, которое уравнивается натяжением пружины обратной связи (рисунок 1.5).

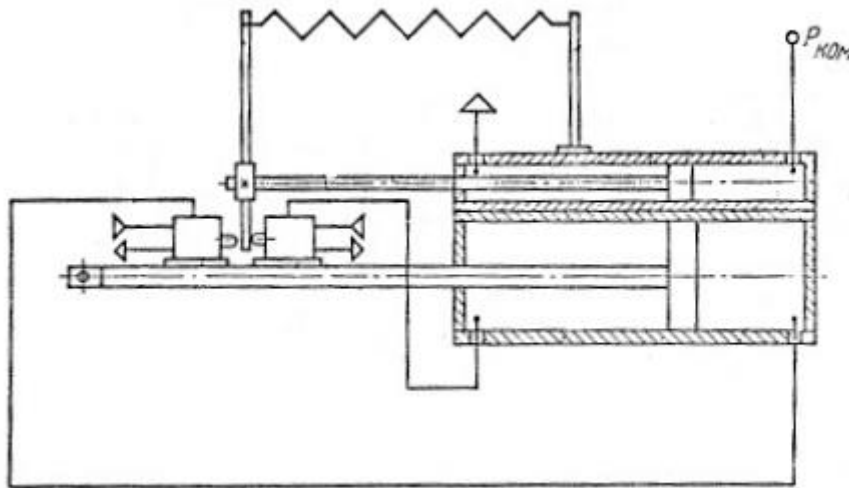


Рисунок 1.5 – Конструкция следящего пневмопривода

В 2010 году Харченко Александр Николаевич опубликовал диссертацию на тему: «Повышение точности и быстродействия промышленных мехатронных электропневматических следящих приводов на основе аппаратной программной интеграции мехатронных компонентов» [7]. В данной работе проведены исследования динамических свойств, разработаны алгоритмы управления следящих пневматических приводов и проведено компьютерное исследование динамических свойств мехатронных электропневматических следящих приводов.

В результате проведенного исследования структуры и динамических свойств мехатронного силового агрегата Харченко А.Н. сформулировал следующие выводы:

- Для измерения положения штока пневматического цилиндра целесообразно использовать бесконтактный датчик положения, а именно магнитострикционный.
- Исследование процесса вычисления скорости программным и аппаратным способом показало, что наиболее предпочтительным является применение варианта аналогового дифференциатора на базе операционного усилителя и двенадцатиразрядного АЦП, т.к. он

позволяет получить больший диапазон изменения скорости, чем программно реализованный вычислитель скорости с применением шестнадцатиразрядного АЦП.

Результаты его исследования и разработки компьютерных средств управления мехатронных электропневматических следящих приводов показывают, что построение промышленных приводов с повышенной точностью и быстродействием является возможным.

Современные тенденции развития робототехнических и промышленных систем приводят к ужесточению требований к точности, быстродействию и экономичности исполнительных электропневматических следящих приводов. При анализе отобранных технических решений было замечено, что они направлены на решение данных проблем. Эти решения могут послужить основой для разработки новых устройств.

В данной работе будет делаться упор именно на быстродействие системы с сохранением точности не менее 5%.

2 Анализ работы устройства

Пневматические системы используют в промышленности в случаях, когда не требуются большие усилия для преодоления нагрузки и высокая точность позиционирования. Такие системы состоят из пневматического привода и элементов его управления.

В качестве исполнительного механизма применяется пневматический цилиндр с штоком, который преодолевает внешнюю нагрузку со всеми ее составляющими [8]. На пневмоцилиндре устанавливается магнитоэлектрический датчик линейного перемещения. Они обычно используются для определения положения объекта, который движется вдоль одной оси. В данном случае он используется для определения положения штока пневмоцилиндра в реальном времени.

Позиционирование штока осуществляется следующим образом: на устройство ввода-вывода (контроллер) подается сигнал управления (оператором вводится координата при позиционном приводе, либо осуществляется слежение за вводимым в систему сигналом управления, который изменяется по заранее неизвестному закону) и из нее вычитается сигнал от датчика положения. Если разница меньше допустимого интервала – шток остается неподвижным. Если разница выходит за пределы допустимого интервала и положительна – подается сигнал на соответствующие катушки пневмораспределителей, они переключаются и воздух от компрессора будет подаваться в бесштоковую полость пневмоцилиндра. Шток будет выдвигаться пока разница сигналов не достигнет допустимого коридора. Если разница сигналов отрицательна, то сжатый воздух через другую пару распределителей подается в штоковую полость.

Управляющим элементом системы являются клапана 2/2 с электромагнитным дискретным управлением (рисунок 2.1). Управляющий сигнал и сигнал обратной связи поступают на входы программируемого логического контроллера (ПЛК). В зависимости от разности сигналов

осуществляется управление положением штока с помощью дискретных электромагнитных клапанов А1-А4 (сигнал с выходов ПЛК поступает на соленоиды тем самым открывая/закрывая распределители).

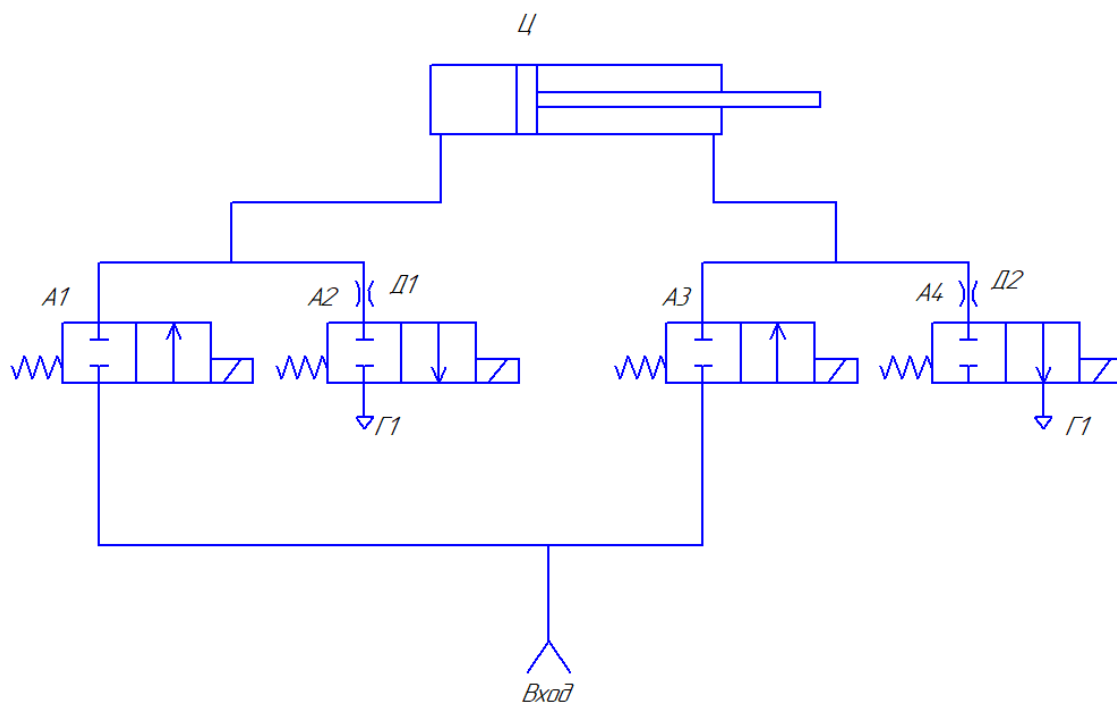


Рисунок 2.1 – Принципиальная пневматическая схема

3 Разработка структурной схемы с пневматическим следящим приводом

В наиболее общем случае автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) представляет собой замкнутую систему, которая обеспечивает сбор и обработку информации. Эти данные необходимы для оптимизации управления объектом в соответствии с установленными критериями и реализации управляющих воздействий на объект.

Чаще всего АСУ ТП имеют трехуровневую структуру.

На верхнем уровне решаются задачи диспетчеризации процесса, подсчета технико-экономических показателей производства, происходит оптимизация режимов, осуществляется визуализация процесса и архивирование процесса, а также происходит диагностика и корректировка программного обеспечения системы с участием оперативного персонала. Верхний уровень реализуется на базе серверов, операторских и инженерных станций.

На среднем уровне решаются задачи автоматического управления и регулирования, пуска и останова оборудования, логико-командного управления, аварийных отключений и защит. Средний уровень реализуется на основе ПЛК [9].

Нижний уровень обеспечивает сбор данных и параметров технологического процесса, отслеживание состояния оборудования и включает датчики для сбора информации, электроприводы, исполнительные устройства для реализации регулирующих и управляющих воздействий.

Структурная схема с пневматическим следящим приводом имеет вид:

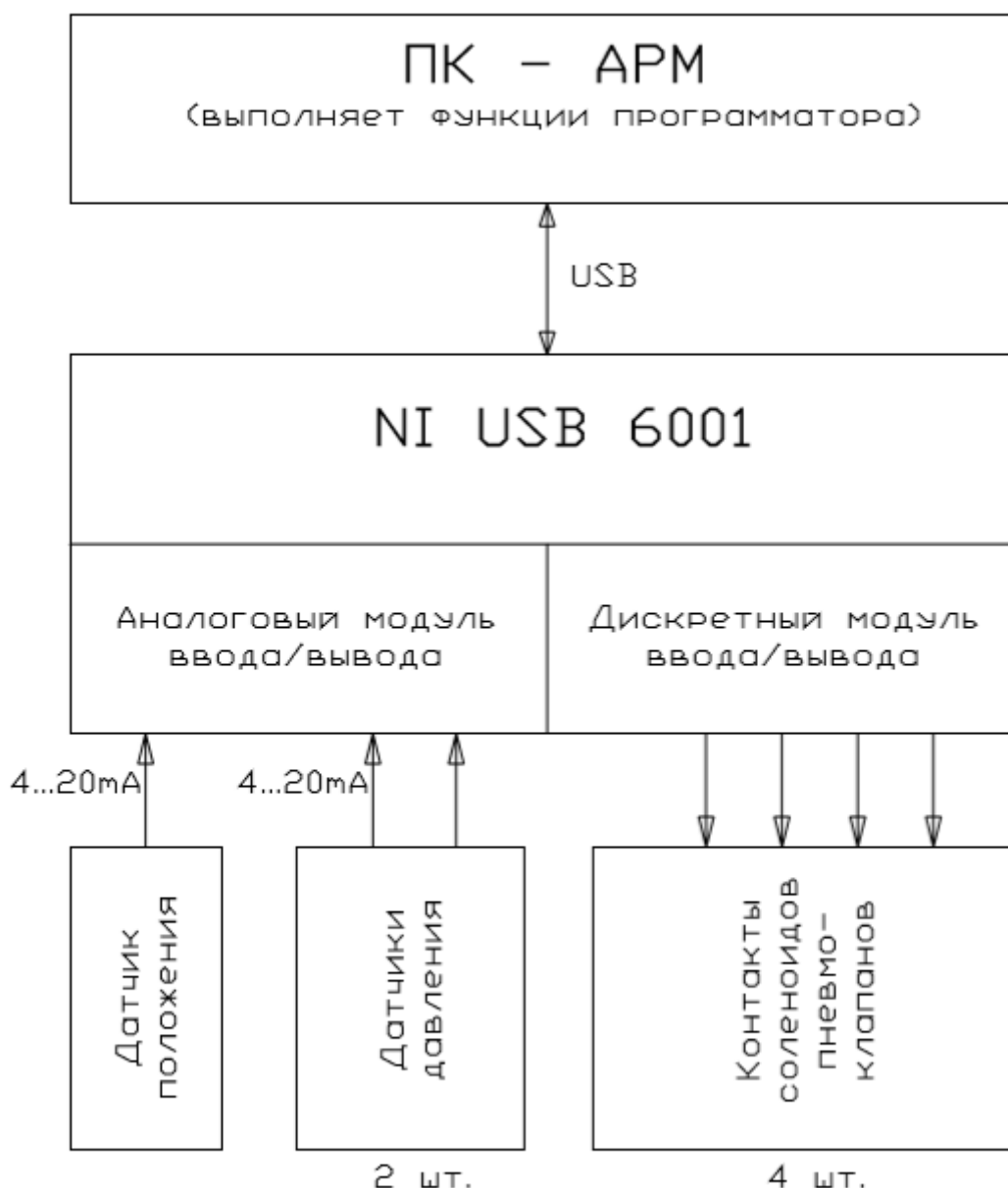


Рисунок 3.1 – Структурная схема системы автоматизированного управления

На верхнем уровне располагается персональный компьютер, выполняющий функции автоматизированного рабочего места. К компьютеру по USB подсоединяется контроллер NI USB 6001, с помощью чего осуществляется его программирование и запитывание.

У контроллера имеются модули аналогового и дискретного ввода/вывода. К аналоговому модулю подсоединяются датчики давления, для определения давления в полостях цилиндра, а также датчик положения штока

пневмоцилиндра. К дискретному модулю подсоединяются контакты соленоидов для управления пневматическими распределителями.

Датчики давления и положения передают сигнал в диапазоне от 4 до 20 мА.

4 Разработка принципиальной пневматической и электрической схем

4.1 Разработка принципиальной пневматической схемы автоматизированной системы управления следящим приводом

Первый компонент пневмопривода – пневмоцилиндр. В данной работе используется пневмоцилиндр 6PF3P050A0400.

Характеристики данного цилиндра:

- Двустороннего действия;
- Диаметр поршня 50 мм;
- Ход 400 мм;
- Материал: нержавеющая сталь;
- Рабочее давление 0,1 ... 10 бар.

Позиционирование пневмоцилиндра осуществляется с помощью четырех распределителей 2/2 со следующими характеристиками:

- Начальное положение Н.З;
- 2 позиции;
- Пружинный возврат;
- Присоединение G1/8;
- Условный проход 2 мм;
- Напряжение 24 В (0.6 Вт);
- Рабочее давление до 7 бар.

Пневматическая схема следящего привода приведена на рисунке 4.1.

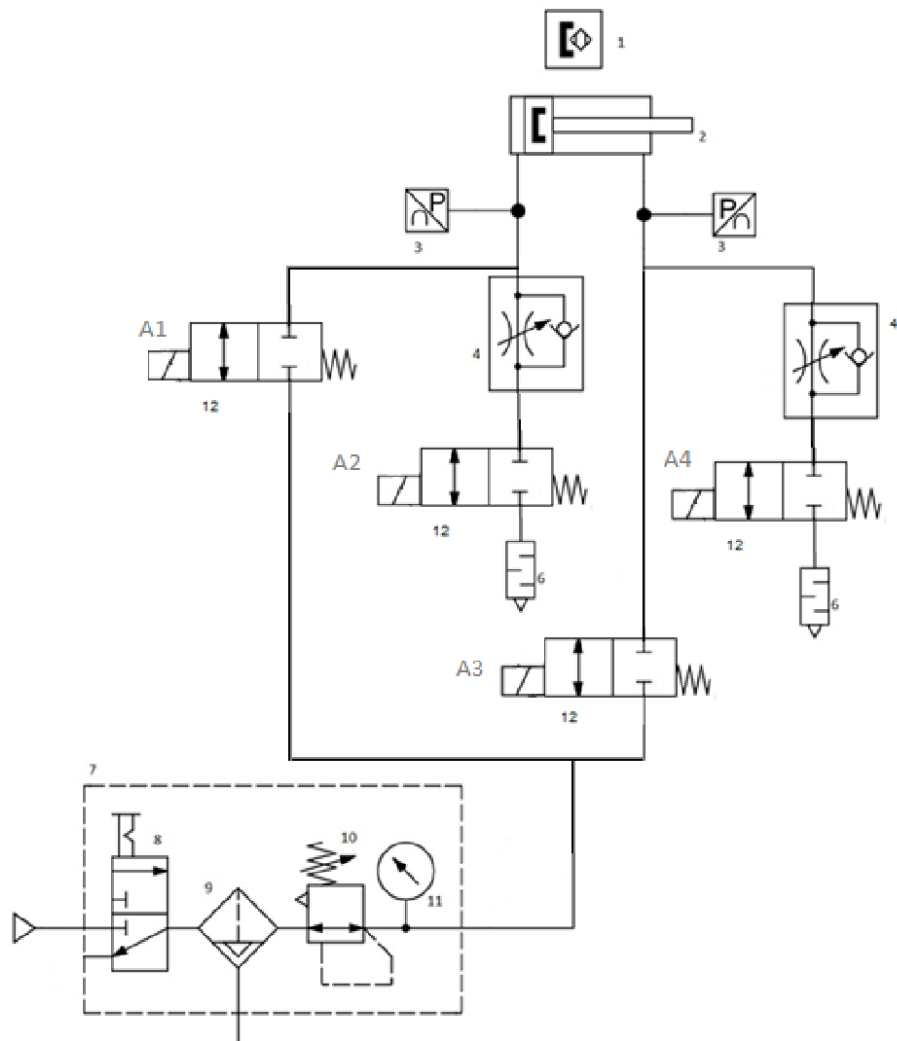


Рисунок 4.1 – Принципиальная пневматическая схема

Условные обозначения:

- 1 – датчик положения;
- 2 – шток пневмоцилиндра;
- 3 – датчики давления;
- 4– регулирующие дроссели с обратным клапаном;
- 6 – глушители;
- 7 – блок подготовки воздуха;
- 8 – отсечной клапан
- 9 – фильтр, с влагоотделителем;
- 10 – регулятор давления;
- 11 – манометр;
- 12 – электропневматический распределитель прямого действия 2/2.

На распределители А1 и А4 управляющий сигнал подается одновременно, так же, как и на распределители А2 и А3 (они работают попарно). В то время как один из них отвечает за подачу воздуха в полость пневмоцилиндра 2, другой, в то же самое время, спускает воздух из другой полости (рисунок 4.1).

Избыточное давление из бесштоковой полости выходит через глушитель находящийся в пневмораспределителе 12. Скорость выдвижения и втягивания контролируется с помощью дросселей 4, с обратным клапаном. Контроль результата выполнения команды происходит с помощью датчика положения штока 1, который передает данные в устройство ввода-вывода. Для отслеживания физических процессов внутри цилиндра установлены датчики давления 3, которые также передают данные в устройство ввода-вывода.

Подготовка сжатого воздуха происходит в блоке подготовки воздуха 7, которые состоит из манометра 11, регулятора давления 10, фильтра с влагоотделением 9 и отсечного клапана 8.

4.2 Разработка принципиальной электрической схемы автоматизированной системы управления следящим приводом

Главное преимущество бесконтактных датчиков положения основывается на методе их работы. Это высокая износостойкость и долговечная работа. Магнитострикционные датчики положения отличаются большими рабочими диапазонами, высокой точностью и скоростью, повторяемостью, хорошо устойчивы к тяжелым условиям внешней среды и, как было выявлено в ходе патентного обзора, именно они отлично подходят для следящих пневматических приводов.

В уже выбранном ранее пневматическом цилиндре имеется встроенный датчик, дающий связь, серии 6PF. Одним из его основных преимуществ является питание 5 В. Такое питание можно получить с многофункционального устройства ввода-вывода NI-6001 USB, а значит нет необходимости загромождать привод дополнительным оборудованием.

Его характеристики:

- Измерительный диапазон 400мм;
- Напряжение питания 5 В;
- Электрическое соединение: 4-х контактный разъем с резьбой M12;
- Скорость перемещения до 15 м/с;
- Выходной сигнал 0...5 В;
- Электрическое сопротивление 5 кОм;
- Электрическое соединение: трехпроводное;
- Кабель: длина 2м, 3x0,14мм в защитной оболочке;
- Степень защиты: IP67;
- Форма, крепление: овальный, прямой монтаж в паз цилиндра.

Для контроля физических процессов в полостях пневмоцилиндра необходимо использовать датчики давления высокой точности. Были выбраны датчики серии PSE56 с номером 0 [10]. Их характеристики:

- Контактующий материал нержавеющей сталь;

- Выходной сигнал: 1...5 В или 4...20мА;
- Высокая точность и линейность характеристик;
- Компактная конструкция;
- Напряжение питания 24 В.

Цифра 0 в конце показывает диапазон рабочих давлений 0 – 1 Мпа, что удовлетворяет требованиям - рабочее давление 6 Бар = 0.6 МПа. В наличии имелись датчики PSE520-02-28 (рисунок 4.2), с наружным присоединительным портом R1/4 и аналоговым входом (4-20 мА). С максимальным выходным сигналом 5 В при ± 10 В на устройстве ввода-вывода половина шкалы уходит впустую, что мало эффективно. Но в наличии другого датчика не оказалось. Тем не менее при 5 В остается 12 битов, что обеспечивает подходящую точность измерения.



Рисунок 4.2 – Датчики давления PSE560-02-28.

Для управления было выбрано многофункциональное устройство ввода-вывода NI-6001 USB (рисунок 4.3). Это многофункциональное устройство для сбора данных с аналоговым и цифровым вводом-выводом и 32-битным счетчиком. NI-6001 USB осуществляет базовые функции для таких областей применения, как академические лабораторные испытания, портативные измерительные системы и простая регистрация данных. Устройство находится в легком механическом корпусе, и в целях повышения мобильности и экономичности питание устройства осуществляется через USB от промышленного компьютера. К NI-6001 с винтовыми клеммами можно легко подключать различные датчики и сигналы. Его характеристики:

- 8 аналоговых входов (14 бит, 20 кВыб/с);
- 2 аналоговых выхода (5 кВыб/с/канал);
- 13 цифровых вводов-выводов;
- Разъем шины – USB 2.0;
- Питание от шины.



Рисунок 4.3 – внешний вид устройства NI-6001 USB.

Данное устройство отлично подходит для подобных задач, так как выполнено в легком металлическом корпусе и имеет питание по шине USB для обеспечения мобильных измерений. NI USB-6001 обладает основными функциональными возможностями по сбору данных, такими как простая регистрация данных, портативные измерения и научные лабораторные эксперименты.

Разрабатываем принципиальную электрическую схему с учетом ЕСКД. Необходимо учесть, что программирование контроллера должно осуществляться через USB порт. Должны быть подключены: датчик положения, четыре катушки электромеханических распределителей и два датчика давления.

Для построения схемы использовалось ПО AutoCAD Electrical. В составе AutoCAD Electrical входит несколько библиотек условных графических обозначений (УГО), которые содержат более 650 000 стандартных обозначений для построения электрических схем. Помимо

электрических УГО AutoCAD Electrical содержит библиотеки пневматических и гидравлических элементов. Процедура вставки элементов на схему достаточно проста и основана на специальном, редактируемом меню элементов и позволяет быстро добавлять элементы на схему.

Имеется возможность самостоятельно создавать свои собственные библиотеки и наполнять их собственными УГО. Позиции элементов и компонентов, номера проводов на схемах AutoCAD Electrical проставляются автоматически.

Перекрёстные ссылки делают листы проекта более информационными, определяя состав компонентов и указывая, где находятся связанные части.

В приложении А показан полный состав элементов и связей между ними. Расположение элементов на схеме условное. Питание осуществляется от сети переменного напряжения 220 В.

5 Настройка PID-регулятора

Есть два основных подхода к настройке PID-регулятора. Один из них осуществляется вычислением параметров регулятора на основании модели системы. Этот метод позволяет достаточно точно рассчитать параметры регулятора, но при этом он требует основательного погружения в ТАУ.

Второй метод – ручная настройка параметров (коэффициентов). Это метод проб и ошибок. Для этого за основу берется готовая система у которой меняют один (или сразу несколько) коэффициент регулятора. Затем включают регулятор и отслеживают работу системы. В зависимости от того, как ведет себя система с установленными коэффициентами (происходит недо/пере регулирование) опять меняют коэффициенты и повторяют эксперимент. В данном методе главное правильно представлять как изменение того или иного коэффициента повлияет на систему (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Пример графиков изменения параметров при различных настройках регулятора

При большом перерегулировании (синяя кривая), необходимо уменьшать пропорциональный коэффициент P , а если регулятор долго достигает установившегося значения (зеленая кривая) — увеличивать. Так изменяя коэффициент в нужную сторону необходимо получить график регулирования, который будет максимально соответствовать идеальному. Но

так как достичь идеала вряд ли удастся, следует оставить небольшое перерегулирование (его можно будет скорректировать другими коэффициентами).

Дифференциальную составляющую необходимо постепенно увеличивать, тем самым добиться уменьшения или полного исчезновения перерегулирования графика перед выходом на установившееся значение. При этих манипуляциях кривая должна еще больше приблизиться к идеальной. Если дифференциальный коэффициент будет сильно завышен, перемещение будет изменяться не плавно, а скачками.

При настройке первых двух коэффициентов (пропорционального и дифференциального) можно получить практически идеальную кривую регулирования или близкую к ней кривую, которая будет удовлетворять условиям задачи. Однако, как правило настройки двух коэффициентов недостаточно и возникает так называемая «статическая ошибка». Для исключения этого эффекта, используют интегральную составляющую. Её необходимо постепенно увеличивать до тех пор, пока статическая ошибка не исчезнет. Однако, чрезмерное её увеличение тоже может привести к возникновению скачков параметра.

Для расчета параметров PID-регулятора будет использоваться метод Зиглера-Никольса. Этот метод работает не для любой системы, результаты получаются не самыми оптимальными. Но, зато, метод очень простой и годится для базовой настройки регулятора в большинстве систем [10].

Метод состоит в следующем:

- 1) К выходу объекта подключают потенциометр, а интегральное и дифференциальное воздействие регулятора – блокируются.
- 2) Затем коэффициент K_p постепенно увеличивают до тех пор, пока в системе не остановятся устойчивые колебания с периодом $T_{пред}$ (рисунок 5.2).

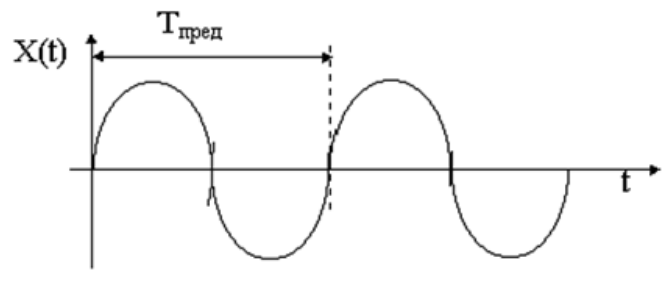


Рисунок 5.2 – Устойчивые колебания в системе

3) Далее рассчитываются и устанавливаются параметры регулятора на основе соотношений указанных в таблице 1.

Таблица 1 - Формулы для расчета коэффициентов регулятора по методу Зиглера-Никольса

Регулятор	Расчет по отклику на скачок		
	K_p	T_i	T_d
П	$0,5 K_{p \text{ пред}}$	-	-
ПИ	$0,45 K_{p \text{ пред}}$	$T_{\text{пред}} / 1,2$	-
ПИД	$0,6 K_{p \text{ пред}}$	$T_{\text{пред}} / 2$	$T_{\text{пред}} / 8$

Получаем следующие параметры: $K_n = 8,9$, $T_i = 0,01$, $T_d = 0,16$. В итоге получаем следующий график (рисунок 5.3) на котором видно, что результаты получились неудовлетворительными.

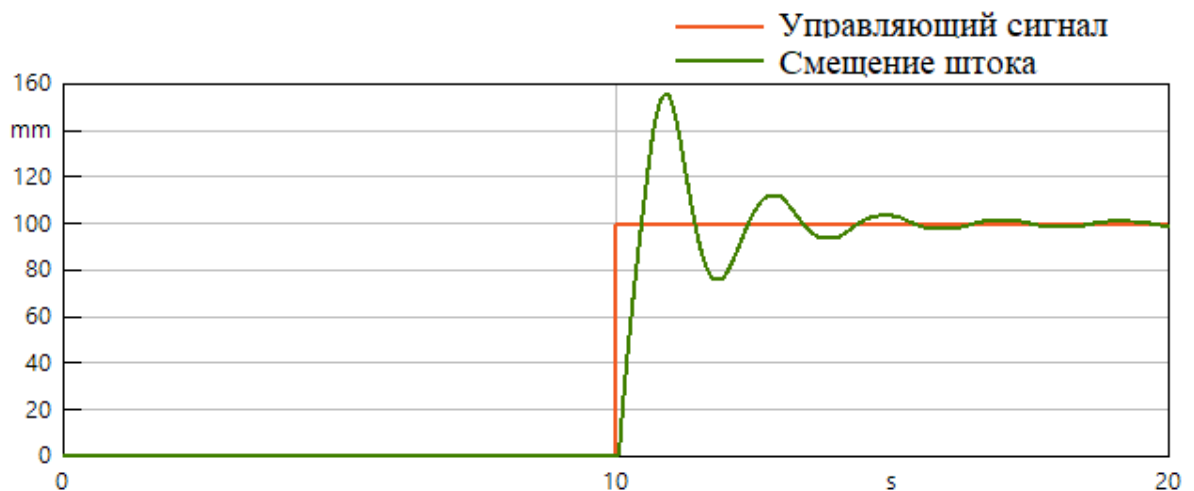


Рисунок 5.3 – Результат настройки регулятора методом Зиглера-Никольса

На данном графике регулируемое значение подходит к заданному скачками, слишком долго достигает установившегося значения.

Воспользуемся методом ручной настройки, результат представлен на рисунке 5.4.

Были получены следующие параметры: $K = 10$, $T_i = 0.25$, $T_d = 0.25$.

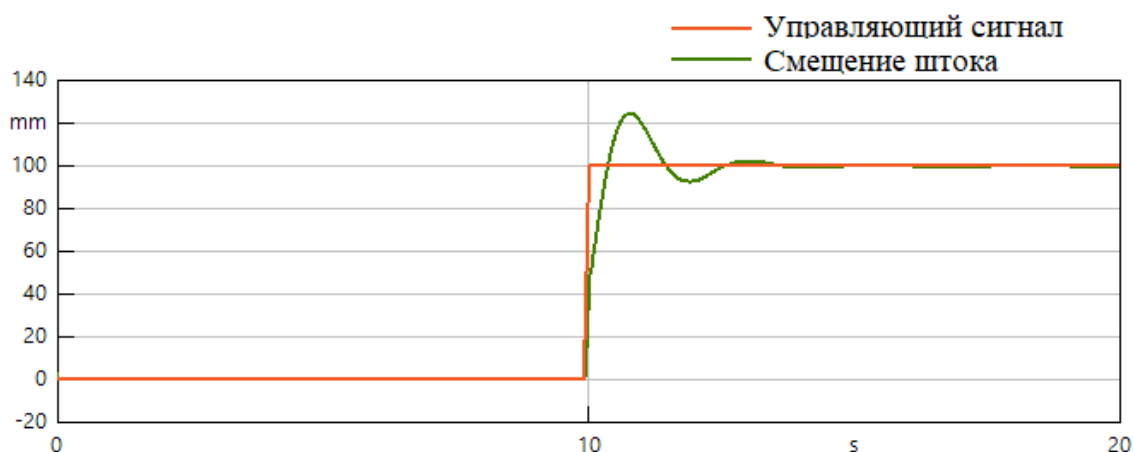


Рисунок 5.4 – Результат метода ручной настройки

Важно отметить, что имеется возможность сократить перерегулирование до минимума, таким образом будет достигаться большая точность (рисунок 5.5). Однако, процесс становится достаточно продолжительным (более 6 секунд).

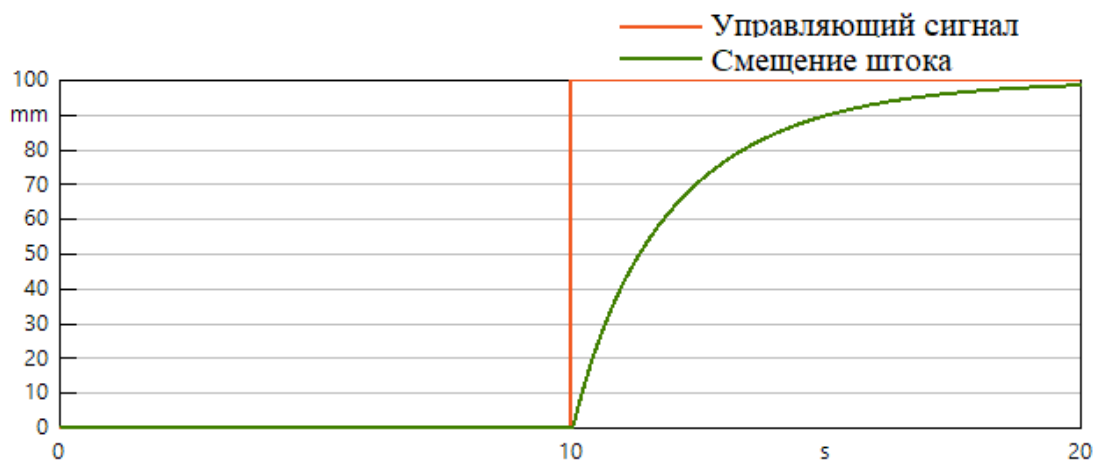


Рисунок 5.5 – Метод ручной настройки без перерегулирования

Так как в данной работе делается акцент именно на быстродействии привода, было принято считать допустимым перерегулирование в 5 %. В таком случае система подходит к заданному значению за оптимальное время и при этом достаточно плавно. Данные параметры можно назвать приемлемыми и в дальнейшем именно они будут использоваться для моделирования системы.

6 Разработка модели в SimulationX

Для разработки модели использовалось ПО SimulationX. Данное ПО позволяет моделировать, симулировать и анализировать сложные мехатронные системы.

Программный комплекс SimulationX был создан еще в 1993 году (первое название – ITI-SIM) и с тех пор постоянно развивается фирмой ITI GmbH в Дрездене.

Основные достоинства программы SimulationX:

- Быстрое построение моделей из интуитивно-понятных объектов механики, пневматики и гидравлики, термодинамики, машиностроения и управления;
- В одной модели возможно осуществление взаимодействия механических, электрических, гидравлических, пневматических, термических объектов и управляющих сигналов;
- Графическое представление результатов осуществляется всего одним нажатием кнопки на «мышке»;
- Осуществляется анимация построенных моделей, позволяющая наглядно увидеть процесс;
- Наличие в ПО встроенного описания большого количества примеров применения.

На рисунке 6.1 реализована программа, позволяющая смоделировать процессы, происходящие в следящем пневматическом приводе.

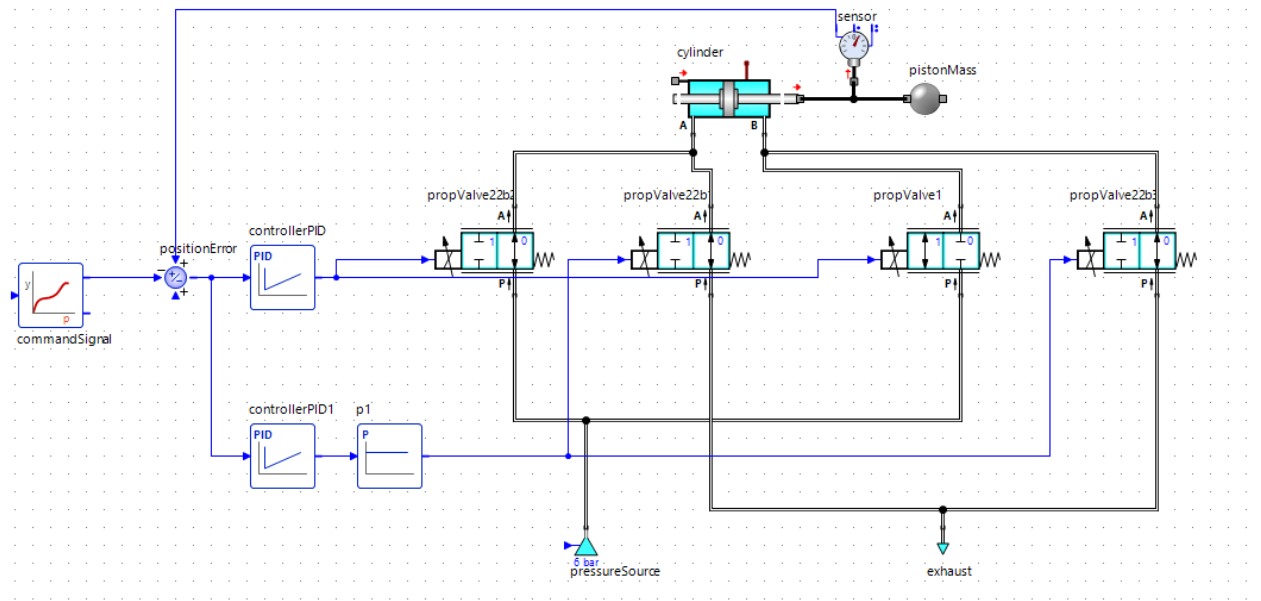


Рисунок 6.1 – Программа в Simulation X

Изначально строится пневматическая схема управления: пневмоцилиндр с распределителями и источник сжатого воздуха с выпуском.

К пневмоцилиндру добавляем массу и сенсор, который будет отслеживать положение штока пневмоцилиндра. Реализуем логику управления при помощи блока с управляющим сигналом и ПИД-регулятором, который был предварительно настроен ранее. Можно заметить, что на данной схеме имеются два ПИД-регулятора. Это необходимо для осуществления попарной работы распределителей. Данные регуляторы настроены идентично, но один из них управляет распределителями A1 и A4 (на пневмосхеме), тогда как другой распределителями A2 и A3.

По итогу были получены 5 графиков, которые отражают изменение основных параметров с течением времени.

6.1 Результаты построения модели

На рисунке 6.2 представлен график смещения штока пневмоцилиндра относительно начального положения и сигнал, который задает это смещение. Здесь можно заметить, что имеется смещение, движение штока не идеально. Имеется небольшое перерегулирование, которое затем компенсируется.

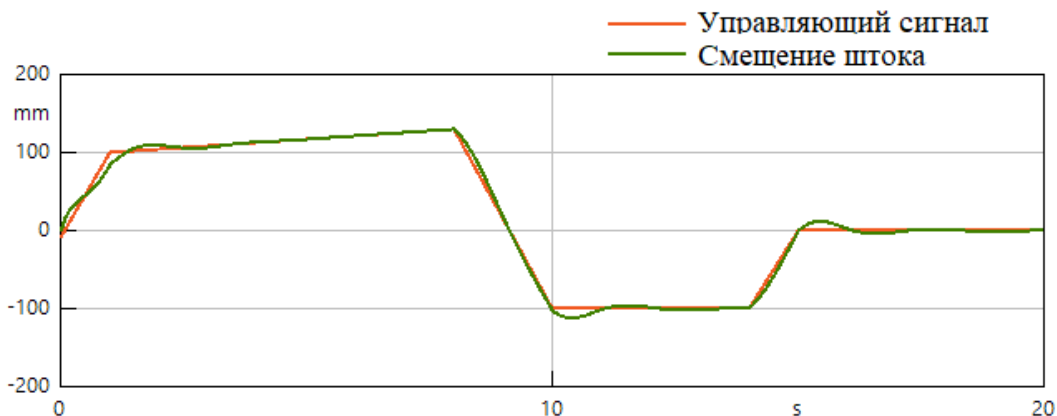


Рисунок 6.2 – Смещение штока пневмоцилиндра

На рисунке 6.3 отражена динамика движения пневмоцилиндра. Значение сигнала равное 1 показывает, что активны клапана А1 и А3. Если сигнал равен -1, то активны клапана А2 и А4. Нулевое значение говорит о том, что клапана закрыты и шток находится без движения. Таким образом можно увидеть, что при перерегулировании положение компенсируется открытием противодействующих клапанов, тем самым корректируя положение штока.

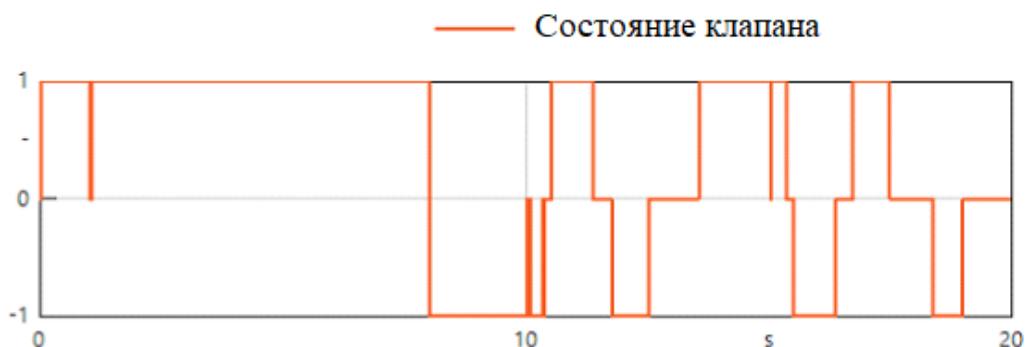


Рисунок 6.3 – Работа клапанов

На рисунок 6.4 изображено изменение скорости выдвигания или втягивание штока с течением времени. Положительные значения скорости на графике показывают процесс выдвигания, тогда как отрицательные – втягивание. Соответственно, чем ближе значение к нулю, тем меньше скорость движения штока пневмоцилиндра. Здесь можно увидеть процесс страгивания с места штока, когда значение скорости максимальное. Затем оно уменьшается, и при торможении резко становится отрицательным. Затем происходит корректировка положения медленными движениями и полная остановка.

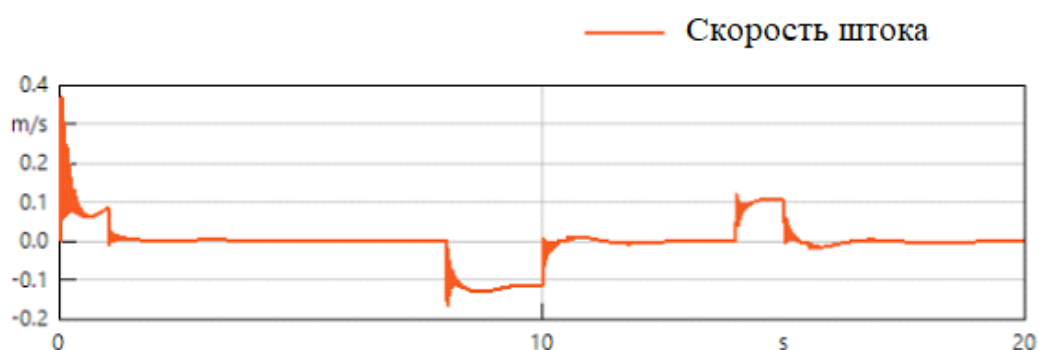


Рисунок 6.4 – Скорость движения штока

На следующем графике (рисунок 6.5) изображено положение штока пневмоцилиндра. Нулевое значение говорит о том, что шток полностью втянут, тогда как значение равное 400 соответствует длине штока и является максимальной координатой выдвигания. Данный график схож с графиком смещения штока пневмоцилиндра, поэтому заострять на нем внимание не имеет смысла.

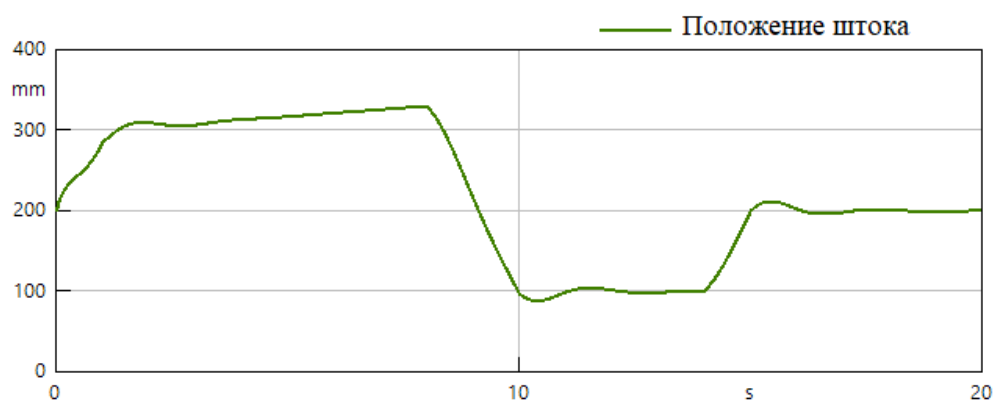


Рисунок 6.5 – Положение штока пневмоцилиндра

6.2 Исследование влияния параметров на давление в полостях

И на заключительном этапе проводилось исследование влияния различных параметров на давление в полостях пневмоцилиндра.

Полость А – это поршневая полость, а полость В – штоковая. На рисунке 6.6 давление в полостях при массе, воздействующей на шток равной 10 кг, диаметре поршня 100 мм и с расходом 300 л/мин. На вход подавался сигнал на выдвижение на 100 мм. Примем этот график как основной и в дальнейшем будем принимать его за эталон.

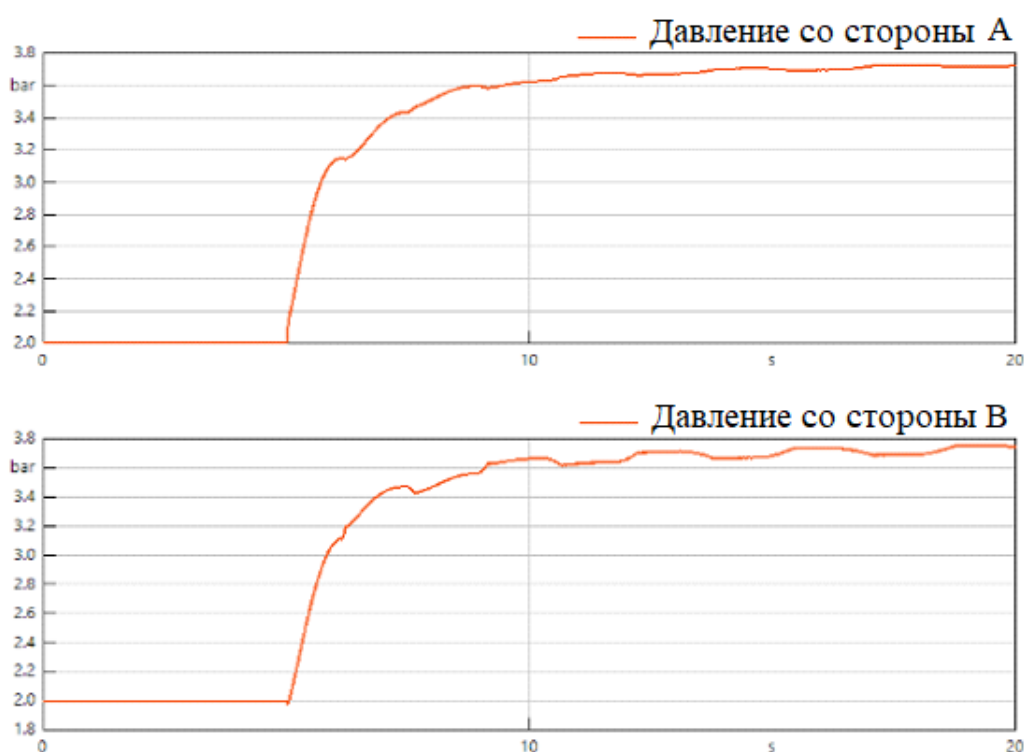


Рисунок 6.6 - Давление в полостях (исходное)

На первом этапе проводилось исследование влияния расхода распределителей на давление в полостях пневмоцилиндра (рисунок 6.7).

Соответствие расходов следующее:

- Цилиндр 1 = 200 л/мин;
- Цилиндр 2 = 300 л/мин;
- Цилиндр 3 = 400 л/мин.

Можно заметить, что чем больше расход, тем больше давление в обеих полостях цилиндра.

При моделировании основной системы использовался распределитель с расходом 300 л/мин. Он подбирался на основании требуемого нормального расхода $Q = (1,2...2) Q_{др.н.}$ (где $Q_{др.н.}$ было получено из графика расхода дросселя каталога Camozzi).

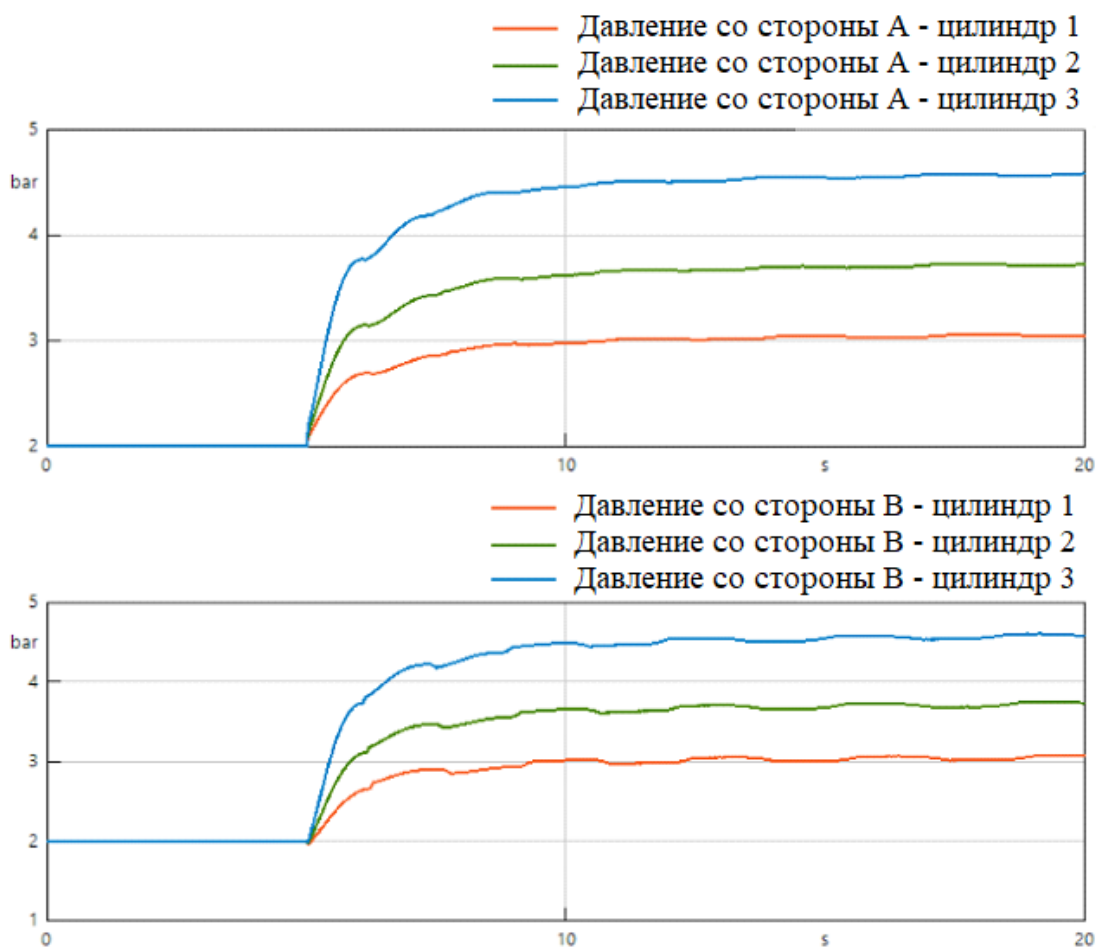


Рисунок 6.7 – Влияние расхода распределителей

На следующем этапе проводилось исследование влияния диаметра штока распределителя на давление в полостях пневмоцилиндре (рисунок 6.8).

Соответствие диаметров следующее:

- Цилиндр 1 = 50 мм;
- Цилиндр 2 = 100 мм;

- Цилиндр 3 = 120 мм.

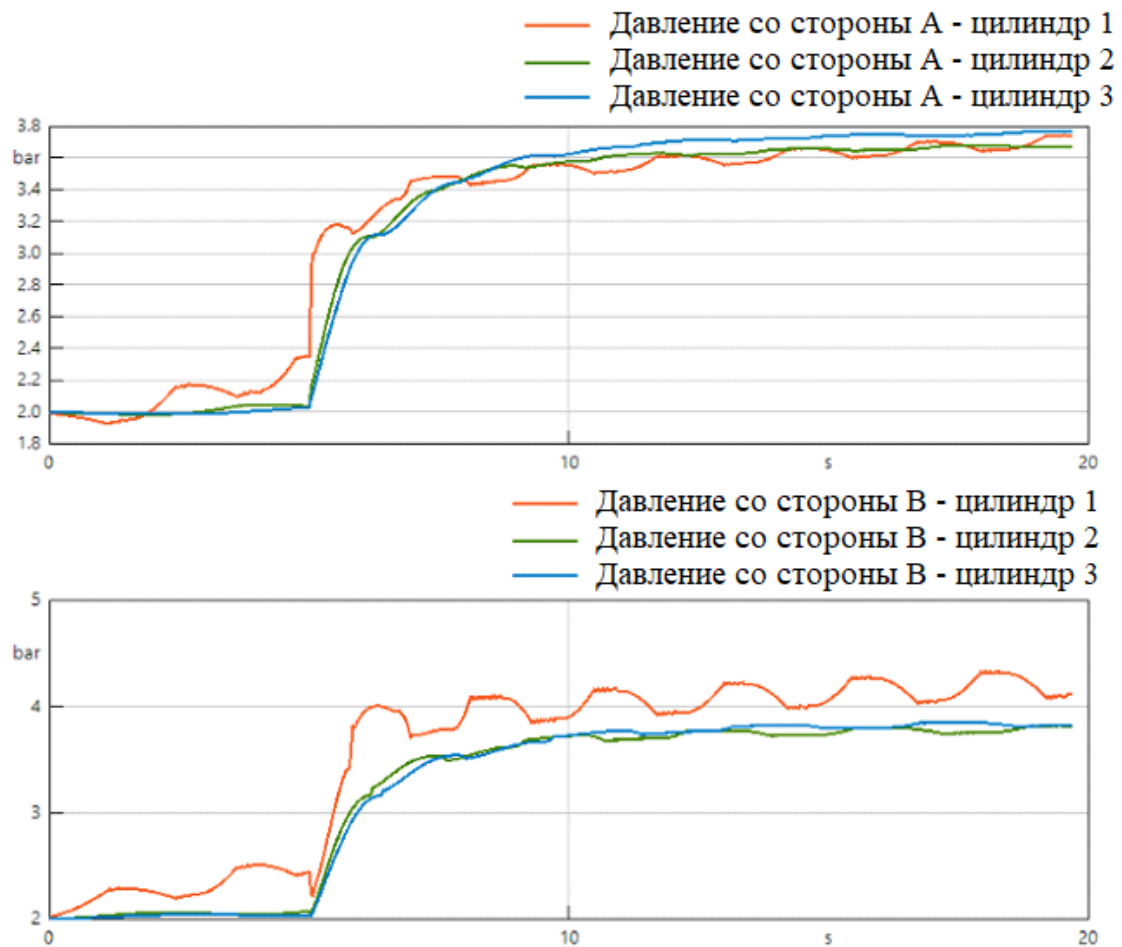


Рисунок 6.8 – Влияние диаметра штока

Наиболее уверенно себя ведет система с большим диаметром штока пневмоцилиндра. При слишком маленьком диаметре появляются пульсации давления. С увеличением диаметра график изменяется незначительно.

И на заключительном этапе проводилось исследование влияния массы на давление в полостях пневмоцилиндра (рисунок 6.9).

Соответствие массы следующее:

- Цилиндр 1 = 1 кг;
- Цилиндр 2 = 10 кг;
- Цилиндр 3 = 100 кг.

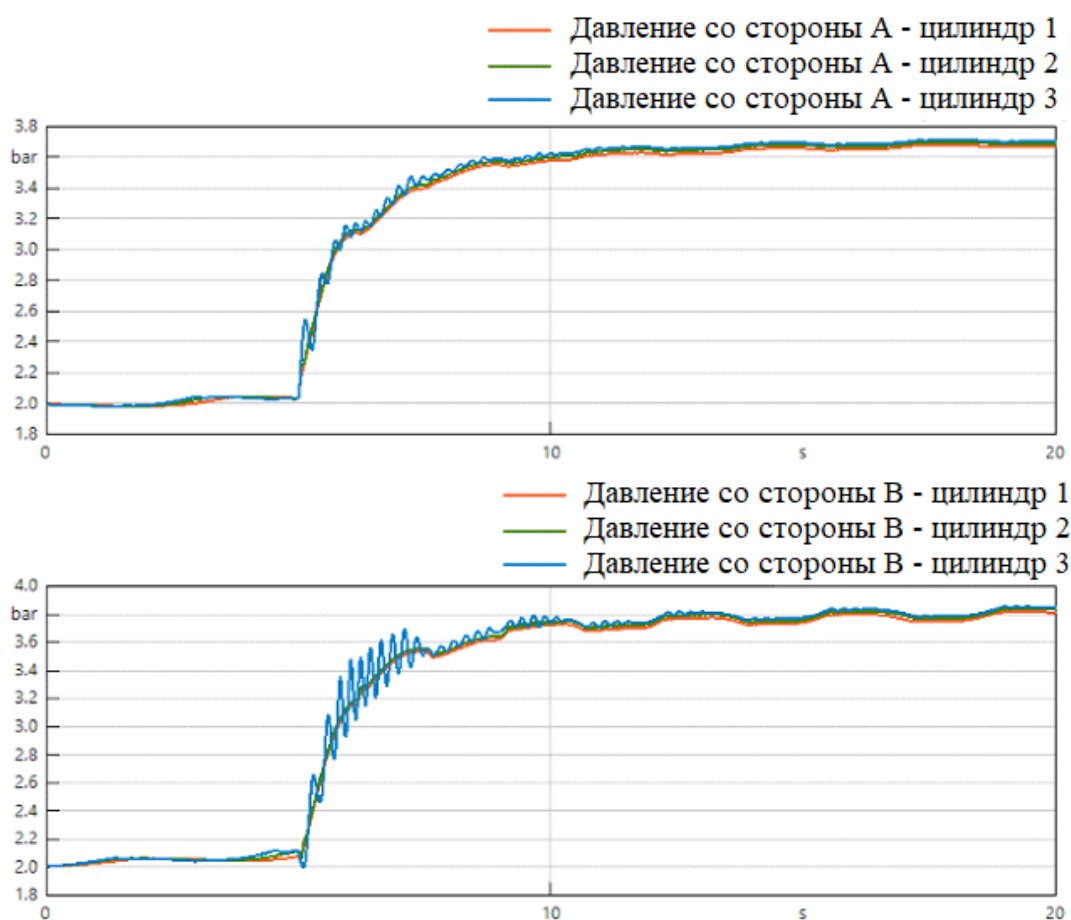


Рисунок 6.9 – Влияние массы, действующей на шток

Так как система была рассчитана на управление массой 10-15 кг, то с данным весом, а соответственно и с меньшим, пневмоцилиндр должен справиться. Это можно наблюдать на графике, при массе в 1 и 10 кг давление практически одинаковое. Однако, при массе в 100 кг появляются пульсации давления.

В результате исследования было определено, что увеличение расхода пневмораспределителей благоприятно скажется на работе системы, так как давление осталось равномерным и возросло на всех участках. Уменьшение массы также является благоприятным для системы, но данные изменения делают менее эффективной работу пневмопривода в целом.

Нежелательным является уменьшение диаметра штока пневмоцилиндра, уменьшение расхода распределителей, а также увеличение

массы нагрузки. Данные изменения приводят к появлению пульсаций давления в системе.

Увеличение диаметра штока пневмоцилиндра не ведет за собой ощутимых изменений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выпускной квалификационной работы был разработан следящий пневматический привод, проведен анализ существующих решений, разработана структурная схема, разработаны пневматическая и электрическая схемы, настроен ПИД-регулятор для управления системой, а также разработана модель, отражающая динамику процесса.

Данная работа позволяет подробно отследить динамику процесса позиционирования штока пневмоцилиндра по следующим параметрам: скорости движения штока, положению штока пневмоцилиндра, смещению штока пневмоцилиндра, работе клапанов на различных этапах позиционирования и давлению в полостях пневмоцилиндра.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андреев, А.Ф. Гидро- пневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Объемные гидро- и пневмомашины и передачи [Текст]/А.Ф. Андреев, Л.В. Барташевич, Н.В. Боглан. - Минск: Высшая школа, 1987. - 310 с.
2. ГОСТ 17752-81 Гидропривод объемный и пневмопривод [Текст]. – Введ. 1981-12-31. –М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1981. – 72 с.
3. Сайт Camozzi: [Электронный ресурс] // Каталог продукции Camozzi. 2008-2009:
http://www.camozzi.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=489&Itemid=341 (Дата обращения 11.02.2020).
4. Банк патентов [Электронный ресурс]. – Следящий позиционный пневмопривод. - 1980. - URL <https://findpatent.ru/patent/72/720197.html> (дата обращения: 01.06.2020).
5. Банк патентов [Электронный ресурс]. – Следящий пневмопривод. - 1982. - URL <https://findpatent.ru/patent/152/1522150.html> (дата обращения: 01.06.2020).
6. Патентный поиск по международной патентной классификации [Электронный ресурс]. – Пневматический следящий привод. - 1978. – URL: <https://findpatent.ru/patent/179/1790701.html> (дата обращения: 05.06.2020).
7. Харченко, А.Н. Повышение точности и быстродействия промышленных мехатронных электропневматических следящих приводов на основе аппаратной и программной интеграции мехатронных компонентов [Текст]: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.02.05: защищена 12.02.10: утв. 24.06.10/ Харченко Александр Николаевич. – М., 2010. – 195 с. – 094599733.

8. Ефремова К.Д. Следящий пневмопривод с цифровым управлением [Текст] / К.Д. Ефремова, В.Н. Пильгунов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. - Вып. 4. – С. 1-9.

9. Сборник технических статей [Электронный ресурс]. – Структура распределенной АСУ ТП. -2010. URL: <http://www.teh-lib.ru/atpip/struktura-raspredelejnonoj-asu-tp/Vse-stranitsy.html> (дата обращения: 11.04.2018).

10. Сборник технических статей [Электронный ресурс]. - Настройка ПИД-регулятора. -2016. URL: <http://lazysmart.ru/osnovy-avtomatiki/nastrojka-pid-regulyatora/> (дата обращения: 08.05.2020).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Схема электрическая принципиальная

