

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЁВА»

Институт двигателей и энергетических установок
Кафедра автоматических систем энергетических установок

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

«РАЗРАБОТКА ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА ТОЧНОГО
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ»

по направлению подготовки 15.03.04

«Автоматизация технологических процессов и производств»

(уровень бакалавриата)

профиль «Мехатронные и робототехнические комплексы»

Студент _____  _____ С. А. Дубова

Руководитель ВКР, доцент, к.т.н. _____ А. А. Иголкин

Нормоконтролер, доцент, к.т.н. _____ А.И Сафин



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
Кафедра «Автоматические системы энергетических установок»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____/Шахматов Е.В./
« ____ » _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ (ВКР)

Студенту Дубовой Серафимы Андреевны, группы 2414-150304D

1. ТЕМА ВКР: «Разработка пневматического привода точного позиционирования»

Утверждена приказом по университету от «16» апреля 2020г. № 135-Т

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ВКР:

Назначение: Пневматический привод точного позиционирования предназначен для позиционирования штока пневмоцилиндра и перемещения объекта массой, не превышающей допустимое значение.

Состав: источник сжатого воздуха; пневмоцилиндр; блок индикации (светодиоды); блок управления (блок питания, устройство ввода-вывода, датчик положения, компьютер с программой управления); пневмораспределители, датчики давления в штоковой и бесштоковой областях.

Режимы работы: режим позиционирования - задание положения штока пневмоцилиндра в допустимом диапазоне; ручной режим - задание полного выдвигания и полного втягивания штока; цикловой режим - задание цикла работы.

Технические требования:

В процессе работы данные с датчиков давления (штоковой и бесштоковой областей) и датчика перемещения должны передаваться к устройству ввода-вывода, а от него в компьютер и сохраняться для дальнейшей обработки. Положение штока и давление в бесштоковых и штоковых областях должно отображаться на экране монитора компьютера.

Блок индикации: при старте должен загораться крайний левый зеленый светодиод индикации запуска программы; второй и третий светодиодные индикаторы предназначены для обозначения положения штока (полностью выдвинут – второй светодиод, полностью втянут – третий).

Пневмоцилиндр: способность перемещать объекты массой до 15 кг; ход штока пневмоцилиндра 300мм±5мм; скорости прямого и обратного хода 300 мм/сек±5мм/сек с точностью позиционирования 5 мм;

Пневмораспределители: два распределителя 5/3 моностабильные, с закрытым центром и электрическим управлением; два распределителя 2/2, с пружинным возвратом и электрическим управлением;

Блок управления: устройство ввода-вывода для сбора данных с датчиков и выдачи сигналов управления на катушки распределителей использует аналоговые и цифровые входы выходы и питается от компьютера по USB. Датчик положения с диапазоном измерения 0 мм -300 мм и погрешностью ±5мм; напряжение питания 24В±2.5В постоянного напряжения с силой тока необходимой и достаточной для функционирования блока управления;

Датчики давления: диапазон измерения от 0 Бар до 4 Бар и погрешностью ±0.1 Бар, напряжение питания не более 24В

Источник сжатого воздуха с рабочим давлением 4 Бар±0.1 Бар;

Условия эксплуатации:

Для пневматической части: диапазон рабочих значений температуры окружающего воздуха от 0 до +30 °С; условия хранения 2(С) по ГОСТ 15150-69; условия транспортировки 5(ОЖ4) по ГОСТ 1510-69; рабочее тело – воздух, очищенный не грубее 8-го класса;

для электрической части: диапазон рабочих значений температуры окружающего воздуха от 0 до +30 °С; при температуре воздуха +25 °С допустимая относительная влажность воздуха не более 80%; атмосферное давление от 100 кПа до 106 кПа;

3. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ПОДЛЕЖАЩИХ РАЗРАБОТКЕ В ВКР:

- 3.1. Литературно-патентный обзор. Обоснование актуальности темы проекта;
- 3.2. Анализ работы устройства и разработка алгоритма управления;
- 3.3. Разработка структурной схемы пневматического привода точного позиционирования;
- 3.4. Разработка принципиальной электрической и пневматической схем;
- 3.5. Силовой расчёт, расчёт потребления воздуха, расчёт потребления тока и выбор пневматических и электрических компонентов привода;
- 3.6. Разработка программы управления пневматическим приводом точного позиционирования в среде программирования LabView;
- 3.7. Экспериментальная проверка функционирования пневматического привода точного позиционирования;
- 3.8. Моделирование пневматического привода точного позиционирования в программе Amesim;
- 3.9. Разработка презентации ВКР в формате *.ppt;

4. ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА:

- 4.1. Структурная схема – 1 л. А3;
 - 4.2. Схема пневматическая принципиальная – 1 л. А4;
 - 4.3. Перечень элементов пневматического привода точного позиционирования – 1 л. А4;
 - 4.4. Схема электрическая принципиальная – 1 л. А3
 - 4.5. Алгоритм управления 1 л. А3
5. Дата выдачи задания: « ____ » _____ 2020г.

6. Срок представления на кафедру законченной ВКР: « ____ » _____ 2020г.

Руководитель ВКР:

профессор, д.т.н.

/А.А. Иголкин/

Задание принял к исполнению



/С.А. Дубова/

30 мая 2020 г.

Согласовано:

Руководитель цикла, профессор, д.т.н.

/С.А. Матюнин/

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 50 страниц, рисунков, 13 источников, 2 приложения.

Графическая часть: лист формата А3

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПРИВОД ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ,
СТРУКТУРНАЯ СХЕМА, АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ,
ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР, ДАТЧИКИ, СРЕДА
РАЗРАБОТКИ.

Цель работы – разработка пневматического привода точного позиционирования и системы управления для него для проведения лабораторных исследований.

В ходе работы был разработан пневматический привод точного позиционирования. В ходе работы были построены структурная и принципиальная схемы работы пневматического привода, а также алгоритм работы системы, произведен выбор элементной базы, разработана SCADA-система. Программирование производилось в среде разработки LabView 2018 для многофункционального устройства ввода-вывода NI-6001 USB.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	1
1 Литературно-патентный обзор	2
1.1 Обзор существующих исполнительных приводов	5
1.2 Область применения пневматических приводов	5
1.3 Патентный обзор	5
2 Описание объекта автоматизации	2
3 Разработка структурной схемы.....	2
4 Выбор элементной базы	3
4.1 Пневмоцилиндр	5
4.2 Дроссель и пневмораспределитель 5/3	5
4.3 Электропневматический распределитель прямого действия 2/2	5
4.4 Датчик положения.....	5
4.5 Датчики давления.....	5
4.6 Контроллер	5
4.7 Источник напряжения 24 В.....	5
4.8 Светодиоды, резисторы, транзисторы	5
4.9 Дополнительное оборудование	5
5 Принципиальная схема	4
5.1 Принципиальная пневматическая схема	5
5.2 Принципиальная электрическая схема	5
6 Алгоритм работы.....	4
7 Описание работы программы	4
7.1 Программа.....	5
7.2 SCADA-система	5
8 Моделирование в программе amesim.....	5
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	4
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....	4
ПРИЛОЖЕНИЕ	5

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе был разработан пневматический привод точного позиционирования и его система управления. Она обеспечивает три режима работы: ручной, цикловой и позиционный, а также два режима позиционирования: апериодический и колебательный. Данные о положении штока и давлении в полостях пневмоцилиндра обрабатываются многофункциональным устройством ввода-вывода NI-6001 USB и выводятся на экран пользователя. Задание режимов работы и позиционирования осуществляется также на экране пользователя, и через многофункциональное устройство ввода-вывода сигналы управления поступают на пневмораспределители. Разработанная SCADA-система позволяет оператору управлять приводом и наблюдать за физическими процессами внутри него.

Преимущество позиционного привода заключается в высокой точности позиционирования и наличии большого числа точек позиционирования штока. Устойчивость и точность позиционирования зависит от системы управления. Апериодический режим позиционирования дает большую точность и большее быстродействие. В свою очередь колебательный режим показывает меньшую точность, и меньшее быстродействие. В условиях лабораторного стенда колебательный режим требуется для изучения физических процессов внутри цилиндра. Приводы с апериодическим режимом позиционирования чрезвычайно распространены в промышленности. С помощью датчиков давления и положения осуществляется контроль результата управления и мониторинг рабочего процесса.

1 Литературно-патентный обзор

1.1 Обзор существующих исполнительных приводов

Различные приводы широко используются на производстве. Они приводят в движение как огромные механизмы, так и малые элементы различных систем. От точности и быстродействия приводов зависит все производство в целом. Но при улучшении этих параметров повышается и цена привода. Поэтому разработка современных экономических выгодных приводов, не уступающих по своим характеристикам дорогостоящим аналогам, одна из приоритетных задач во всем мире.

Приводы делятся на 4 основных типа: пневматические, гидравлические, электрические и наиболее часто встречающийся комбинированные. Стоимость, быстродействие, точность, экологичность, энергосбережение, взрыво- и пожаробезопасность – вот основные критерии выбора привода. У выше перечисленных типов приводов есть свои недостатки и преимущества по сравнению с остальными. Именно поэтому комбинированные приводы настолько популярны - они объединяют лучшее от каждого, компенсируя недостатки одного привода преимуществами другого [2].

Рассмотрим характеристики основных типов приводов. Пневматические приводы могут достигать скорости в 10 раз большей чем гидравлические, при этом у электрических - максимальная скорость будет зависеть от очень многих факторов рабочего процесса. Однако у пневматических приводов точность в 100 раз ниже чем у гидравлических и электрических. При требовании работы на упор электрические приводы не используют, у гидравлических требуется автоматический сброс давления, а вот пневматические приводы могут работать без ограничений длительное время. Максимальное развиваемое усилие показывают гидравлические приводы. Пневматические приводы имеют наименьшую жесткость, из-за сжимаемости газов. Сравнение стоит закончить на важных преимуществах пневматических приводов:

экологичность и безопасность. Они имеют наилучшие показатели, так как гидравлические приводы пожароопасны и могут иметь токсические отходы. А электрические приводы пожаро- и взрывоопасны и имеют риск влияния электромагнитных колебаний [2].

Для простых циклично повторяющихся процессов применяются пневматические приводы. Они отличаются простой конструкцией, низкой стоимостью и доступностью энергоносителя [3]. Для более сложных конструкций применяют комбинированные приводы, например, электропневматические. Роль исполнительных механизмов играет пневматический привод, а управляющим является электрический [4].

В данной работе был разработан пневматический привод, поэтому в дальнейшем будем рассматривать только пневматические приводы.

По виду движения пневматические приводы делят на: позиционные, цикловые и следящие. На рисунке 1.1 представлены обобщённые структурные схемы для каждого вида движения [5].

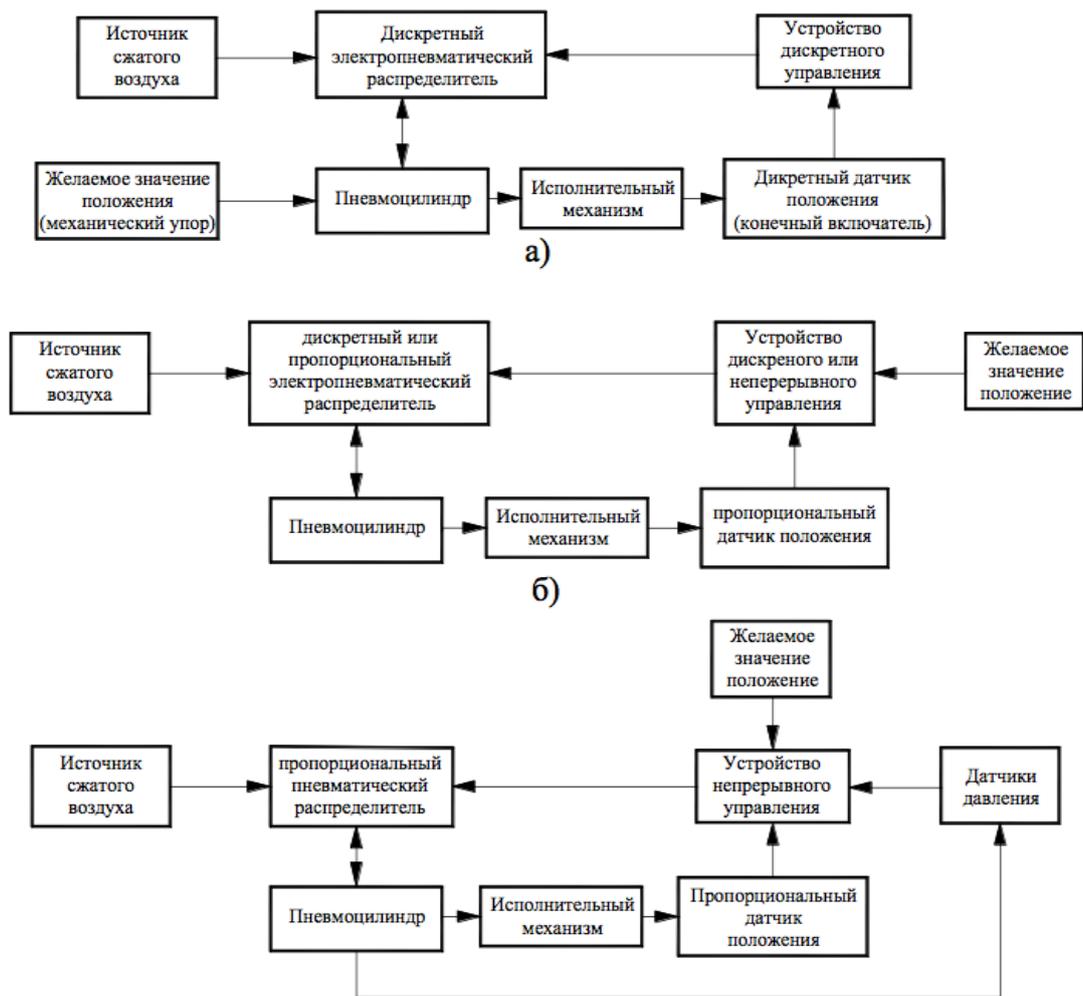


Рисунок 1.1 – обобщенная структурная схема: а) циклового привода; б) позиционного привода; в) следящего привода.

Рассмотрим особенности движения приводов. При цикловом движении имеется как правило 2 точки позиционирования – его крайние положения. Задаваться они могут как программно, так и аппаратно, с помощью концевых датчиков. Для такого движения целесообразно использовать дискретные датчики и устройства управления. Датчики показывают дошел шток до них или нет, а устройство управление включает/выключает исполнительный двигатель.

При позиционном движении привод имеет бесконечное множество точек позиционирования штока (объекта управления) в пределах хода, то есть шток может быть остановлен в любой точке в пределах своего возможного

перемещения. При этом точность позиционирования определяется точностью датчика положения и быстродействием системы управления. Датчики могут быть и дискретными (это ограничивает количество точек позиционирования), и аналоговыми.

Следящие приводы подобно позиционным имеют диапазон позиционирования на всем ходе штока, но при этом шток приходит к точке позиционирования по заданной траектории. Точность позиционирования также, как и в предыдущем зависит от быстродействия измерительной и управляющих систем. Для управления используется пропорциональная регулирующая система. Получение такого вида движения является самым затратным и трудоемким.

1.2 Область применения пневматических приводов

В предыдущем разделе были описаны преимущества пневматических приводов. Основные это малое влияние на окружающую среду, пожаро- и взрывобезопасность, поэтому пневматические приводы широко используются в пищевой, химической, деревообрабатывающей и других областях где необходима стабильная работа с минимальным влиянием на окружающую среду [6]. Также основными преимуществами пневматических приводов являются высокая скорость выходного звена, возможность установки в ограниченных пространствах, которые существенно повышают уровень автоматизации на производстве, снижают участие человека в монотонных работах и увеличивают производительность на производстве. Именно поэтому пневматические приводы нашли такое широкое распространение на производстве.

Рассмотрим исполнительный механизм с автоматизированным пневматическим приводом, наиболее характерный для типовых отраслей. На рисунке 1.2 принципиальная схема универсальной пневматической силовой установки, подобные часто применяются на металлообрабатывающих

предприятиях [8]. В данной установке усилие может быть направлено не только вверх-вниз, но и вперед-назад, благодаря особому рычагу.

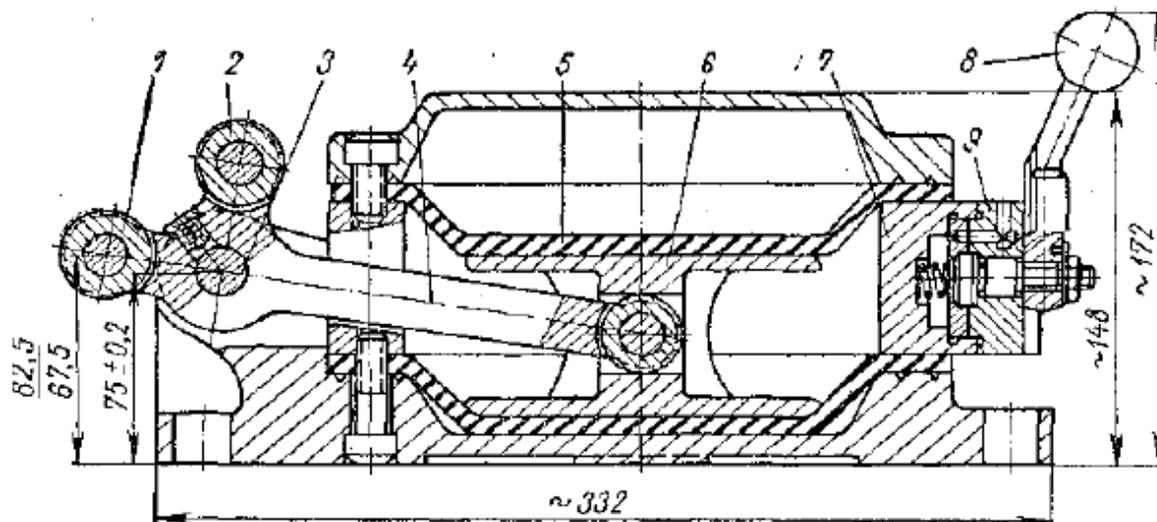


Рисунок 1.2 - Схема универсальной пневматической силовой установки

Рассмотрим ее принцип действия подробнее: между вогнутых диафрагм 5 размещается шток 6. Диафрагмы встроены в корпус 7. Вокруг оси 3 качается рычаг 4, один конец которого закреплен в окне штока 6 с помощью ролика. Еще два конца рычага, оснащенные роликами 1, вращающиеся вокруг оси 2, используются для воздействия на элементы, которые установлены на станке. С помощью распределителя 9 с ручным управлением в полости головки подается воздух при нажатии на рукоятку 8. Распределитель установлен на корпус силовой головки. Воздух подается либо в верхнюю полость установки, либо в нижнюю, которая сообщается с атмосферой. Поворот рычага, действующего на зажимное устройство приспособления, осуществляется при перемещении штока под действием сжатого воздуха.

На основе физических процессов внутри пневматического оборудования и анализе приведенного примера были определены области применения пневматических приводов [11]:

- позиционные приводы;
- поддержание процессов жизнедеятельности;

- поддержание условий труда: создание качественного микроклимата;
- преобразование энергии потока газов, альтернативные энергии;
- снижение уровня трения в подвижных деталях машин;
- силовые механизмы: транспортировочные, подъёмные, зажимные и т.д.;
- управление процессами;

1.3 Патентный обзор

С целью исследования технического уровня и тенденций развития пневматических приводов, был проведен патентный обзор по теме «Пневматический привод точного позиционирования». Патентное исследование было проведено на глубину 30 лет с помощью фонда национального патентного ведомства ФИПС, а также Internet базы данных <http://www.google.com/patents>.

В результате поиска были найдены патенты, которые можно условно разделить 3 группы:

- 1) описывают системы с пневматическими и электропневматическими приводами.
- 2) описывают устройство пневматических и электропневматических приводов.
- 3) описывают методы и системы управления.

К первой группе можно отнести следующие документы:

1. RU 188660 U1, 15.10.2018. В нем описывается устройство для чистки стволов артиллерийских и танковых орудий с помощью сжатого воздуха. Основным элементом является пневматический привод. Он управляет как чисткой с помощью сжатого воздуха, так и чисткой с помощью жидкости. Для чистки используется компрессор, который нагоняет воздух в пневматический привод, а последний к крану-тройнику. Оттуда воздух попадает на три пневматических привода, которые передают давление к баннику с отверстиями. Патент может прекратить свое действие.

2. RU 2273779 C1, 24.08.2004. Данный патент описывает исполнительный механизм запорного устройства с использованием пневматического привода, который осуществляет подъем затвора и его удержание в состоянии готовности. Особенностью является использование не одного, а нескольких «типовых» пневматических приводов. Пневматический привод выполнен в виде цилиндра с осевым отверстием в одном из оснований для прохода штока поршня. Также в патенте описываются особенности монтажа и демонтажа. Патент действителен.

3. RU 2697163 C2, 09.12.2014. Данный патент описывает электропневматическую тормозную систему для железнодорожных вагонов. Система включает множество компонентов, в том числе электропневматический привод. В электропневматической тормозной системе формируются сигналы нагрузки, показывающие нагрузку или вес всего подвижного объекта или его части, например, в зависимости от способа срабатывания тормозной системы: по вагонам или по тележкам. Патент действителен.

4. RU 2584015 C1, 22.04.2015. Данный патент описывает кормушку с функцией коммуникации с животным. Изобретение предназначено для кормления домашних животных во время отсутствия хозяина. Содержит видеокамеру, микрофон, динамик и другие средства коммуникации. Электропневматический привод в данной системе управляет заслонкой и шаговым двигателем для подачи корма. Патент не действителен.

Ко второй группе можно отнести следующие документы:

1. RU 2184340 C2, 17.01.2000. В данном документе содержатся сведения о разработке разомкнутого пневмопривода системы управления вращающейся ракеты. Пневмопривод содержит усилитель мощности и рулевую машину (вход ее связан с выходом усилителя мощности, выход – с рулями). Способ контроля динамики разомкнутого пневмопривода основан на определении амплитудной и фазовой частотных характеристик привода по первой гармонике выходного сигнала. Патент недействителен.
2. RU 2337309 C1, 27.10.2008. В данном документе описывается релейный пневмопривод с вибрационной линеаризирующей системой управления ракетой. Он содержит сумматор, у которого первый вход одновременно является и входом пневмопривода, также содержит последовательно соединенные релейный элемент и усилитель мощности. За ними присоединен исполнительный двигатель, выход которого является одновременно выходом пневмопривода и соединён с помощью датчика отрицательной обратной связи со вторым входом сумматора. Данная разработка позволяет обеспечить наиболее минимальную допустимую амплитуду высокочастотных колебаний в руле, при том что на рули действует знакопеременная шарнирной нагрузкой. Действующий патент.
3. RU 2439383 C2, 11.01.2009. Данный патент описывает разработку пневматического привода для управления запорной арматурой. В целом пневмопривод состоит из пневматического аккумулятора, пневмоцилиндра, а также клапана быстрого сброса. Внутри пневмоцилиндра находится поршень со штоком. Верхняя, то есть бесштоковая полость пневмоцилиндра соединена с пневмоаккумулятором, нижняя, то есть поршневая с клапаном быстрого сброса. Изобретение относится к машиностроению. Она позволяет обеспечить повышение надежности работы пневмопривода и гарантированное срабатывание арматуры. Действующий патент.

4. RU 2174628 С1, 03.04.2000. Данный патент описывает пневматический привод, предназначенный для перестановки и следящего движения запорной и регулирующей арматуры газо-нефтепродуктов. Данный привод обеспечивает стабильные величины движущего момента и исключает поломки частей привода или заклинивание, т.е. повышение надежности работы привода. Недостатком этого привода является вероятность передачи на подвижные части привода чрезмерного движущего момента. Это может произойти при резкой остановке привода до упора в конечных положениях. Патент не действителен.

К третьей группе можно отнести следующие документы:

1. RU 2374092 С1, 19.03.2008. В патенте описана система с помощью которой производится управление электропневматическим приводом в механической ступенчатой коробке передач. Заявляемое изобретение направлено на решение проблемы, которая заключается в повышении надежности, устойчивости к помехам и организации многопультного управления различными режимами работы в коробке передач. В результате реализации данного технического решения обеспечивается осуществление взаимодействия электронного модуля для управления манипулятором с электронным блоком управления коробкой передач. Взаимодействие происходит по цифровому каналу обмена информацией. Патент действителен.

2. RU 2718382 С1, 07.10.2019. Данный патент описывает систему управления пневматическим приводом в транспортных средствах. Способ управления приводом: очищенный воздух с помощью специальной системы подают в одну из полостей цилиндра, после точного определения текущего углового положения диска, задают направление и величину желаемого, то есть целевого углового положения диска. Желаемое угловое положение у диска задается относительно стопоров. Затем для вывода пневматических стопоров подают электромагнитные сигналы управления. После достижения, заданного

желаемого/целевого углового положения диска выполняют полное обезвоздушивание полостей цилиндра. Патент действителен.

В результате патентного обзора были выявлены основные направления развития пневматических и электропневматических приводов, а также уточнены состав проектируемой системы управления и метод расчёта управляющих воздействия. Сводная таблица по проведенному патентному обзору представлена в приложении А.

2 Описание объекта автоматизации

В данной работе объектом автоматизации является пневматический привод точного позиционирования. Пневматические приводы широко применяются на производстве [6]. Их преимуществом является простота конструкции, надежность, низкая стоимость, пожаробезопасность и взрывобезопасность, экологичность [5]. Пневматический привод представляет собой поршневой пневмоцилиндр, со встроенным позиционным датчиком, электропневматические распределители и блок управления.

Работа позиционирования штока осуществляется следующим образом: на устройство ввода-вывода подается сигнал управления (оператором вводится координата) 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 соответствующую катушку пневмораспределителя, он переключится и воздух от компрессора будет подаваться в бесштоковую полость пневмоцилиндра, и шток выдвигается пока разница сигналов не достигнет допустимого коридора. Если разница отрицательна, то сжатый воздух подается в штоковую полость.

При подаче питания к системе происходит опрос датчиков и вывод их значений на монитор. После этого оператор может выбрать режимы работы и позиционирования путем нажатия на соответствующие кнопки.

Режим позиционирования: оператор вводит желаемую координату, и шток устанавливается в нее с учетом погрешности режима позиционирования. После остановки штока оператор может ввести другую координату или выбрать другой режим работы.

Ручной режим дает возможность полностью выдвинуть или втянуть шток путем нажатия соответствующих кнопок.

Цикловой режим осуществляет непрерывное движение штока между заданными пользователем координатами. Перед началом циклового режима пользователь также задает количество циклов.

Работа каждого режима отображается на экране с помощью индикаторов, а информация с датчиков показывается на графике и записывается файл для дальнейшей обработки.

3 Разработка структурной схемы

Позиционный привод обеспечивает возможность остановки штока в любой момент времени в любой координате в диапазоне своего перемещения [7]. Блок «датчики» включает в себя три элемента: датчик положения и два датчика давления в штоковой и бесштоковой полостях. На устройство управления — устройство ввода-вывода поступают сигналы с датчиков, а также сигналы управления с компьютера. Устройство ввода-вывода в свою очередь переключая реле действует на электромагнитный пневматический распределитель и передает данные с датчиков в компьютер для дальнейшей обработки. Это обеспечивает движение штока и его остановку.

По представленному выше описанию объекта, его элементов и режимов работы была разработана структурная схема пневматического привода точного позиционирования с учётом связей между элементами (рисунок 2.1). Сплошной линией показаны механические связи, пунктирной – электрические сигналы (информационные и управления).

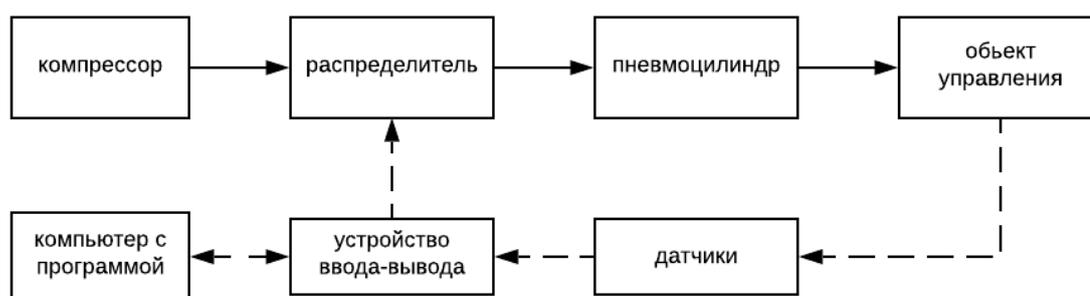


Рисунок 2.1 – Структурная схема пневматического привода точного позиционирования.

Подробная структурная схема, представленная на рисунке 2.2, состоит из следующих элементов:

Компрессор – источник сжатого воздуха, подает воздух в распределитель.

Распределитель 5/3 – электропневматический распределитель 5/3 регулирует подачу и сброс воздуха. Управляется сигналами с устройства ввода-вывода.

Распределитель 2/2 – направляет поток воздуха через более открытые дроссели, что обеспечивает переключение на более быструю скорость перемещения штока.

Пневмоцилиндр – состоит из двух изолированных друг от друга полостей, и штока. Шток двигается в зависимости от давления воздуха в каждой полости.

Шток – объект управления.

Датчики давления в штоковой и бесштоковой полостях – позволяют оператору следить за давлением в полостях цилиндра. Значения с датчиков выводятся на монитор оператора.

Датчик положения – используется как обратная связь, для контроля качества регулирования. Передает значение о положении штока в устройство ввода-вывода.

Устройство ввода-вывода – собирает информацию с датчиков. Передает команды оператора на пневмораспределители. Передает оператору данные с датчиков.

Компьютер с программой – включает в себя программу управления и монитор, на котором в удобной для оператора форме отображаются данные с датчиков. На мониторе автор управляет режимами работы и позиционирования.

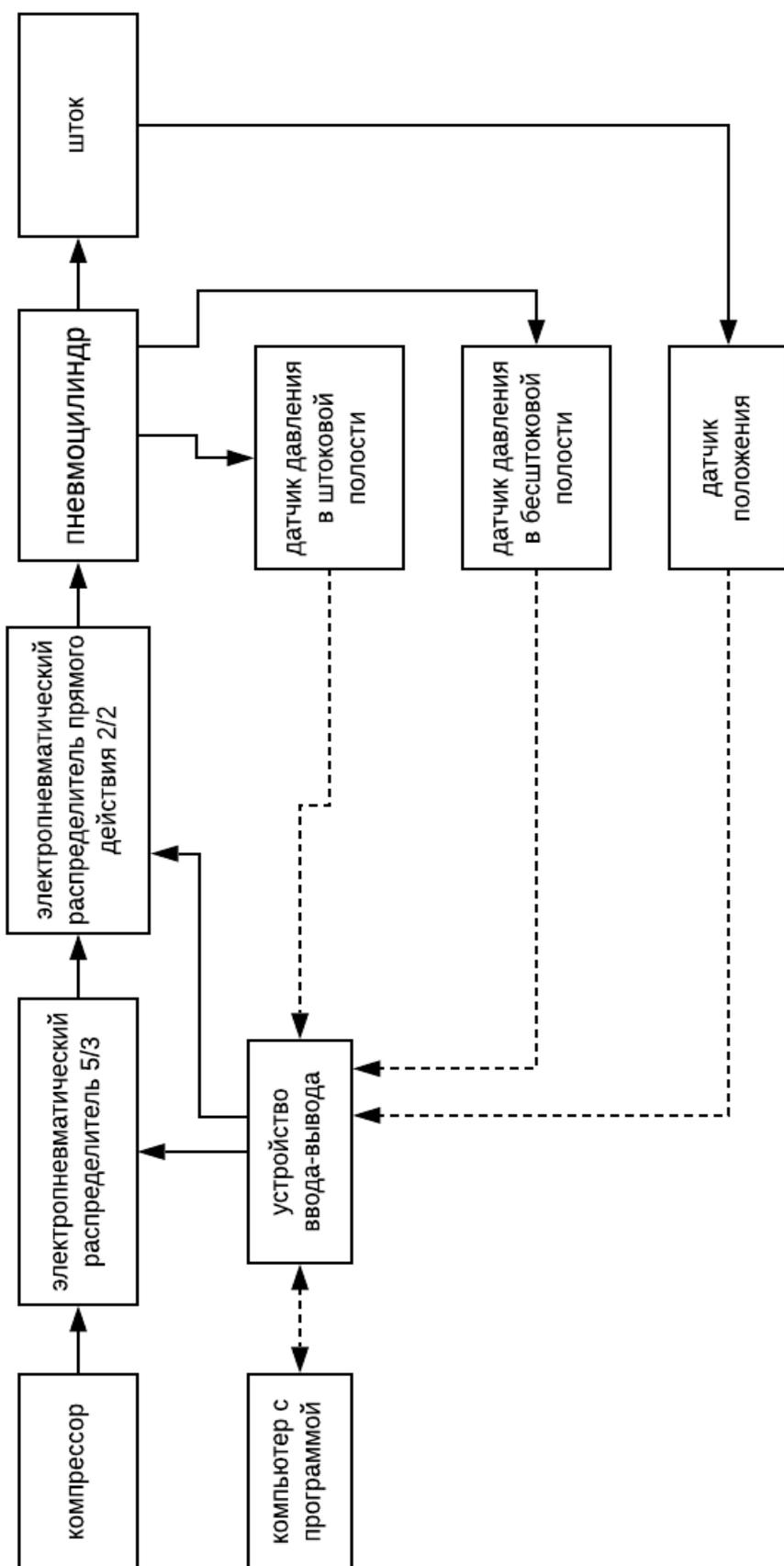


Рисунок 2.2 – подробная структурная схема пневматического привода точного позиционирования.

4 Выбор элементной базы

Выбор пневматических и электропневматических компонентов системы будет производиться под следующие требования:

Ход штока цилиндра $L_m = 300$ мм;

Масса m объекта управления = 15 кг;

Скорости прямого и обратного хода $S_1 = S_2 = S = 300$ мм/сек;

Давление питания $P_{\Pi} = 4$ Бар.

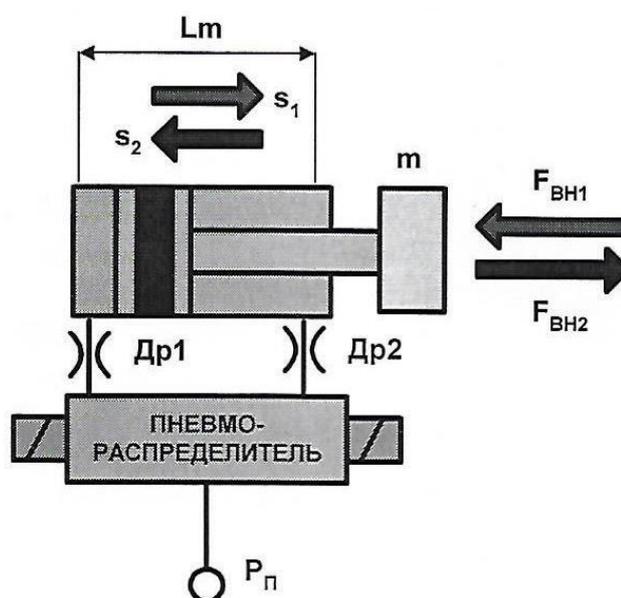


Рисунок 3– Упрощенная схема пневматического привода.

4.1 Пневмоцилиндр

Первый компонент пневмопривода для расчета – пневмоцилиндр. Необходимо учесть потери на подводящей и отводящей магистралях, в распределителе и дросселях. Разница давлений в штоковой и бесштоковой полостях цилиндра определяет его силовой потенциал. Дроссель на выхлопе пневмоцилиндра обеспечивает постоянство скорости и её независимость от внешней нагрузки.

В данном проекте был рассмотрен пневмоцилиндр с длиной штока 300 мм. Его средний ресурс по ходу $S=16000$ км. При имеющемся ходе штока

получаем 26 миллионов циклов, что равняется 130 миллионам секунд работы, или 29000 часам – ресурс по времени работы.

Средняя наработка (среднее время работы) до возникновения отказа равна математическому ожиданию наблюдаемых значений наработки до отказа (времени безотказной работы) объекта:

$$T = \int_0^{\infty} P(t)dt = \frac{1}{\lambda}, \quad (1)$$

Отсюда получаем интенсивность отказов за весь промежуток времени

$$\lambda = \frac{1}{T} = \frac{1}{29000} = 0.0000345. \quad (2)$$

Экспоненциальное распределение описывает надежность изделия при нормальной эксплуатации, когда износ и старении еще не влияют на надежность. Функция распределения случайной величины при экспоненциальном законе распределения описывает вероятность возникновения отказов:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

А плотность вероятности экспоненциального распределения:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (4)$$

По последствиям отказы классифицируются по трем группам [4]:

1 – отказы, до устранения которых система сохраняет работоспособность, ограниченную во времени по сравнению с первоначальной;

2 - отказы, до устранения которых система сохраняет работоспособность частично;

3 – тяжелые отказы, до устранения которых эксплуатация системы невозможна.

Отказ цилиндра - отказ 3 группы. Для элемента, отказы которого классифицируются отказами третьей группы, справедливы уравнения: - вероятность безотказной работы [4].

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (5)$$

Где λ – параметр распределения пневмоцилиндра, численно равный его интенсивности отказов.

Экспоненциальное распределение иллюстрируется на графиках функции распределения и вероятности безотказной работы (рисунок 3.1.1), а также на графике плотности вероятности случайной величины (рисунок 3.1.2).

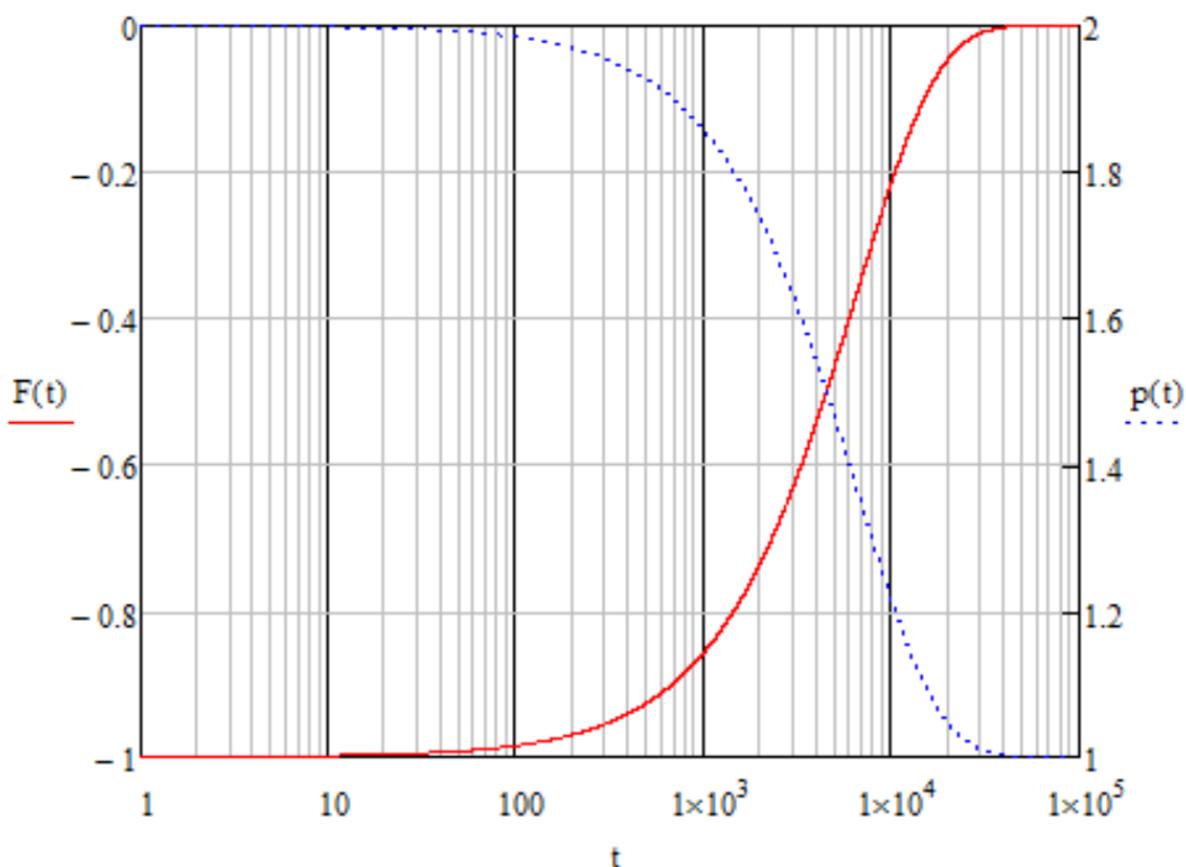


Рисунок 3.1.1 - График функции распределения (красная линия) и график вероятности безотказной работы (синий пунктир).

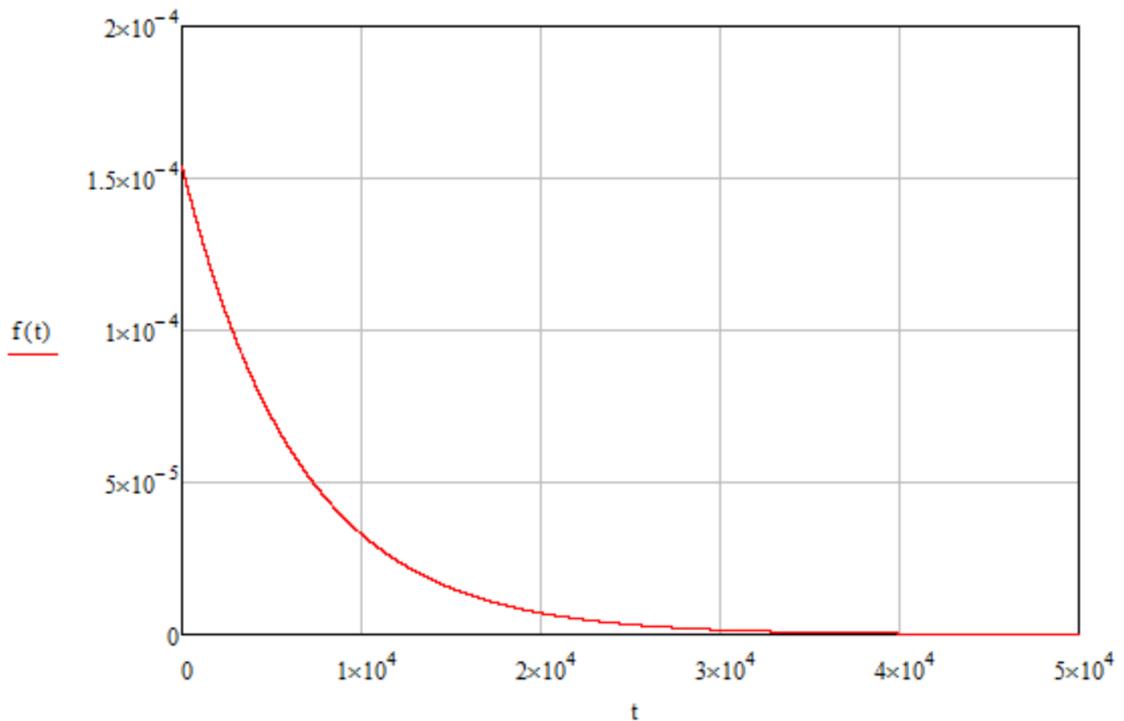


Рисунок 3.1.2 - график плотности вероятности случайной величины
(красная линия)

Для расчета вероятности в течение года гарантийной работы системы сделаем допущения: 20 рабочих днях в месяц по 8 часов в день (в среднем) в течении 12 месяцев получаем 1920 часов работы.

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{0.0000345 \times 1920} = 0.9359; \quad (6)$$

Таким образом вероятность безотказной работы цилиндра в течение года гарантийной работы – 93.6%.

Вероятность отказа найдем по формуле

$$F(t) = 1 - P(t) = 6.4\% \quad (7)$$

Для повышения надежности системы при достигнутом уровне конструкторско-технологических свойств используется резервирование. Это

позволяет получить большую надежность всей системы при наличии элементов с меньшей надежностью.

В пневмоцилиндре структура постоянна и нет возможности использовать резервирование путем включения в систему резервных элементов. Для компенсации нарушений работоспособности, то есть отказов, предусмотрено избыточность по запасам прочности. Поэтому при требуемой скорости 300 мм/сек и внешней нагрузкой 15 кг выбираем шток способный при внешней нагрузке 25 кг развить скорость >300 мм/сек. Под эти данные подойдет модель цилиндра 6PF3P050A0300 (G1/8) (рисунок 3.1.3).



Рисунок 3.1.3 – Пневматический цилиндр 6PF3P050A0300.

Характеристики данного цилиндра:

1. Двустороннего действия;
2. Диаметр поршня 50 мм;
3. Диаметр штока 15 мм;
4. Материал: нержавеющей сталь;
5. Рабочее давление 0.1-1 МПа.

4.2 Дроссель и пневмораспределитель 5/3

Для выбора дросселей и пневматических распределителей необходимо определить, на основании данных о скорости движения штока и давления питания, требуемый номинальный объемный расход $Q_{расч.н}$ [3]. При выборе

дросселя необходимо соблюдать неравенство $Q_{др.н.} \geq Q_{расч.н.}$. По требуемому номинальному расходу $Q_{1н} = (1,2...2) Q_{др.н.}$ производится выбор пневмораспределителя.

По таблице каталога потребление воздуха указывается на каждые 10 мм хода штока. Тогда коэффициент K_v для наших условий:

$$K_v = Lm/10 = 300/10 = 30. \quad (8)$$

Для цилиндра диаметром 50 мм при выбранном давлении 4 Бар потребление воздуха на каждые 10 мм хода $V_0 = 0,098$.

СЕРИЯ >		16	24	25	27	31	32	QP	QCT	QCB	QCTB	QCTF	40	41	42	47	50	52	60	61	62	90	92	94	95	97
Ø	Бесштоковая полость	Давление																								
		МПа (бар)																								
мм	см²	0,10 (1)	0,20 (2)	0,30 (3)	0,40 (4)	0,50 (5)	0,60 (6)	0,70 (7)	0,80 (8)	0,90 (9)	1 (10)															
8	0,50	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,007	0,008	0,008	0,009	0,009	0,010	0,010	0,011	0,011	0,012	0,012	0,012	0,012
10	0,79	0,002	0,002	0,003	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,007	0,008	0,008	0,009	0,009	0,010	0,010	0,011	0,011	0,012	0,012	0,013	0,013	0,014	0,014	0,014
12	1,13	0,002	0,003	0,005	0,006	0,007	0,007	0,008	0,008	0,009	0,009	0,010	0,010	0,011	0,011	0,012	0,012	0,013	0,013	0,014	0,014	0,015	0,015	0,016	0,016	0,016
16	2,01	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,012	0,013	0,013	0,014	0,014	0,015	0,015	0,016	0,016	0,017	0,017	0,018	0,018	0,019	0,019	0,020	0,020	0,021	0,021	0,021
20	3,14	0,006	0,009	0,013	0,016	0,019	0,019	0,020	0,020	0,021	0,021	0,022	0,022	0,023	0,023	0,024	0,024	0,025	0,025	0,026	0,026	0,027	0,027	0,028	0,028	0,028
25	4,91	0,010	0,015	0,020	0,025	0,029	0,029	0,030	0,030	0,031	0,031	0,032	0,032	0,033	0,033	0,034	0,034	0,035	0,035	0,036	0,036	0,037	0,037	0,038	0,038	0,038
32	8,04	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,048	0,050	0,050	0,052	0,052	0,054	0,054	0,056	0,056	0,058	0,058	0,060	0,060	0,062	0,062	0,064	0,064	0,066	0,066	0,066
40	12,56	0,025	0,038	0,050	0,063	0,075	0,075	0,078	0,078	0,081	0,081	0,084	0,084	0,087	0,087	0,090	0,090	0,093	0,093	0,096	0,096	0,099	0,099	0,102	0,102	0,102
50	19,63	0,039	0,059	0,079	0,098	0,118	0,118	0,122	0,122	0,126	0,126	0,130	0,130	0,134	0,134	0,138	0,138	0,142	0,142	0,146	0,146	0,150	0,150	0,154	0,154	0,154
63	31,16	0,062	0,093	0,125	0,156	0,187	0,187	0,192	0,192	0,197	0,197	0,202	0,202	0,207	0,207	0,212	0,212	0,217	0,217	0,222	0,222	0,227	0,227	0,232	0,232	0,232
80	50,24	0,100	0,151	0,201	0,251	0,301	0,301	0,312	0,312	0,323	0,323	0,334	0,334	0,345	0,345	0,356	0,356	0,367	0,367	0,378	0,378	0,389	0,389	0,400	0,400	0,400
100	78,50	0,157	0,236	0,314	0,393	0,471	0,471	0,484	0,484	0,497	0,497	0,510	0,510	0,523	0,523	0,536	0,536	0,549	0,549	0,562	0,562	0,575	0,575	0,588	0,588	0,588
125	122,66	0,245	0,368	0,491	0,613	0,736	0,736	0,751	0,751	0,766	0,766	0,781	0,781	0,796	0,796	0,811	0,811	0,826	0,826	0,841	0,841	0,856	0,856	0,871	0,871	0,871
160	200,96	0,402	0,603	0,804	1,005	1,206	1,206	1,223	1,223	1,240	1,240	1,257	1,257	1,274	1,274	1,291	1,291	1,308	1,308	1,325	1,325	1,342	1,342	1,359	1,359	1,359
200	314,00	0,628	0,942	1,256	1,570	1,884	1,884	1,913	1,913	1,942	1,942	1,971	1,971	2,000	2,000	2,029	2,029	2,058	2,058	2,087	2,087	2,116	2,116	2,145	2,145	2,145
250	490,87	0,981	1,472	1,963	2,453	2,944	2,944	2,985	2,985	3,026	3,026	3,067	3,067	3,108	3,108	3,149	3,149	3,190	3,190	3,231	3,231	3,272	3,272	3,313	3,313	3,313
320	804,25	1,624	2,428	3,233	4,037	4,841	4,841	4,894	4,894	4,947	4,947	4,999	4,999	5,052	5,052	5,105	5,105	5,158	5,158	5,211	5,211	5,264	5,264	5,317	5,317	5,317
400	1256,64	2,557	3,813	5,070	6,327	7,583	7,583	7,648	7,648	7,713	7,713	7,778	7,778	7,843	7,843	7,908	7,908	7,973	7,973	8,038	8,038	8,103	8,103	8,168	8,168	8,168

Рисунок 3.2.1 – Таблица потребления воздуха цилиндрами двустороннего действия

$$V = K_v * V_0 = 30 * 0,098 = 2,94 \text{ нл}; \quad (9)$$

$$Q_m = \frac{V * S}{Lm} = \frac{2,94 * 10^{-3} * 0,3}{0,3} = 2,94 * 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек} = 520 \text{ нл}/\text{мин}. \quad (10)$$

При требуемом расходе Q_m и заданных давлениях $\Delta P = 1$ Бар, $P_p = 4$ Бар определим $Q_{кат}$ (необходимый расход распределителя из каталога). Выбираем дроссель с расходом большим или равным $Q_{кат}$: RFU 446-1/4 ($Q_{др.макс.} = 680$ нл/мин). Выбираем распределители с расходом $Q_{распр}$ в 1,2-2 раза больше расхода дросселя $Q_{др.макс}$ ($Q_{распр} = 1.75 * Q_{др.макс} = 1150$ нл/мин).

Для точного позиционирования нам понадобится распределитель с электромагнитным управлением. Наиболее подходящим под выше описанные параметры в каталоге [8] оказался моностабильный распределитель с электропневматическим управлением CAMOZZI – 364-011-02 (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2.2 – Моностабильный распределитель 5/3 с электропневматическим управлением CAMOZZI – 364-011-02

Его основные характеристики:

- Расход 1200 Нл/мин;
- 5/3 моностабильный с электрическим управлением;
- Напряжение питания – 24 В;
- Рабочее давление 0,15-1 МПа;
- Ток – постоянный
- Потребляемая мощность - 21 Вт

4.3 Электропневматический распределитель прямого действия 2/2

Для обеспечения переключения режимов позиционирования используется электропневматический распределитель прямого действия. Важным условием было электрическое управление. Поэтому был выбран

распределитель фирмы Camozzi серии K8 с номером 000503-K23 (рисунок 3.3.1). его габаритные размеры представлены на рисунке 3.3.2.



Рисунок 3.3.1 – Распределитель Camozzi серии K8.

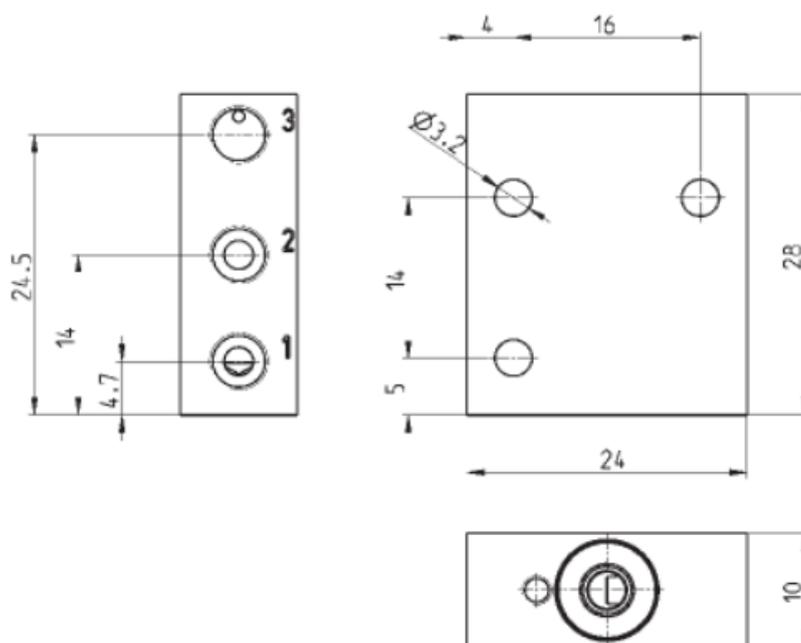


Рисунок 3.3.2 - Распределитель Camozzi серии K8. Габаритные размеры.

Характеристики:

- 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

4.4 Датчик положения

Для контроля результата позиционирования штока требуется датчик положения. В уже выбранном ранее пневматическом цилиндре имеется встроенный потенциометрический 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 не надо загромождать привод дополнительным оборудованием.

Его характеристики:

- Измерительный диапазон 400мм.
- Напряжение питания 5 В.
- Электрическое соединение: 4-х контактный разъём 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.

Принцип работы: линейное перемещение штока прямо пропорционально электрическому сопротивлению датчика, следовательно, величина напряжения информационного провода изменяется (рисунок 3.4). Данные с датчика поступают на обработку в устройство ввода-вывода, выбор которого будет показан позднее.



Рисунок 3.4 – Электрическая схема датчика положения. 1, 3 – питание и общий провод, 4 – информационный контакт.

4.5 Датчики давления

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

- Контактный материал нержавеющей сталь.
- Выходной сигнал: 1...5В 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 полностью удовлетворяет требованиям (рабочее давление 5 Бар = 0.5 Мпа). В наличии имелись датчики PSE520-02-28 (рисунок 3.5), 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 хорошую точность измерения.



Рисунок 3.5 – Датчики давления PSE560-02-28.

4.6 Устройство ввода-вывода

При выборе ПЛК одним из факторов была среда программирования, так как со средой программирования LabVIEW лучше всего работают устройства фирмы NI, поэтому было выбрано многофункциональное устройство ввода-вывода NI-6001 USB (рисунок 3.6.1). Это многофункциональное устройство сбора данных с аналоговым и цифровым вводом-выводом и 32-битным счетчиком. NI-6001 USB предоставляет базовые функции для таких областей применения, как простая регистрация данных, портативные измерительные системы и академические лабораторные испытания. Устройство находится в легком механическом корпусе, и в целях повышения мобильности питание устройства осуществляется по шине. К USB-6001 с винтовыми клеммами можно легко подключать различные датчики и сигналы. Габаритные размеры и таблица выходов показаны на рисунках 3.6.2 и 3.6.3.



Рисунок 3.6.1 – внешний вид устройства NI-6001 USB.

Характеристики [14]:

- 8 аналог. входов (14 бит, 20 кВыб/с)
- 2 аналог. выходов (5 кВыб/с/канал)
- 13 цифр. вводов-выводов
- Напряжение питания 5 В
- Подключение через USB
- Внутренний источник напряжения 5 В

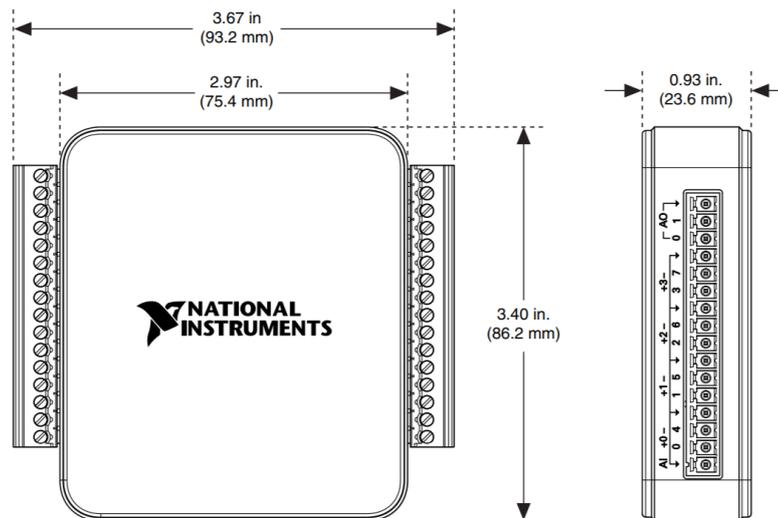


Рисунок 3.6.2 – габаритные размеры устройства NI-6001 USB.

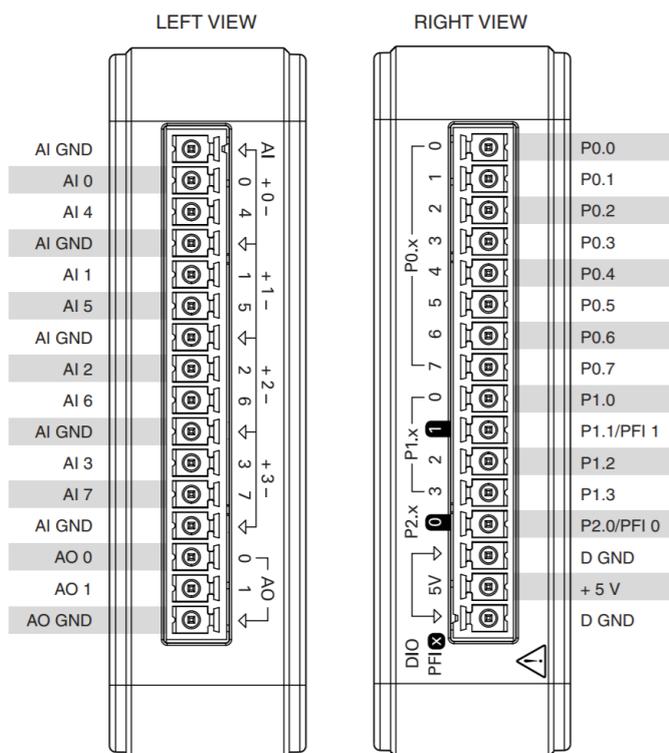


Рисунок 3.6.3 – Таблица выходов устройства NI-6001 USB.

4.7 Источник напряжения 24 В

Для питания датчиков напряжение необходимо иметь источник напряжения 24В, поэтому придется устанавливать дополнительное оборудование.

Для выбора источника питания 24 В необходимо определить общее потребление всех элементов. Параметры всех элементов сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – потребление энергии всех модулей

Название элемента	Напряжение питания, В	Потребляемый ток, мА	Мощность, Вт
Катушки пневмораспределителя 5/3	24	875	21
Катушки пневмораспределителя 2/2	24	25	0.6
Датчик давления 1	24	20	0.5
Датчик давления 2	24	20	0.5

Суммарная мощность потребления с учетом 20% запаса равна 27,12 Вт. В качестве источника напряжения был выбран CUS 100M-24 отличающийся высокой эффективностью и хорошей надежностью. Таблица выбора представлена на рисунке 3.7.

Output Voltage	CUS100M		CUS250		CUS250LD	
	(Convection cooling/Forced air cooling) Output Current	Model	Output Current	Model	Output Current	Model
3.3V	-	-	50A	CUS250-3	50A	CUS250LD-3
4.2V	-	-	50A	CUS250-4	50A	CUS250LD-4
5V	12A/16A	CUS100M-5	50A	CUS250-5	50A	CUS250LD-5
12V	6.7A/8.4A	CUS100M-12	21A	CUS250-12	21A	CUS250LD-12
15V	5.4A/6.7A	CUS100M-15	-	-	-	-
24V	3.4/4.2A	CUS100M-24	10.5A	CUS250-24	10.5A	CUS250LD-24

Рисунок 3.7 – Таблица выбора источника напряжения.

Его максимальный выходной ток 4.2 А, а мощность 100.5 Вт. Этого более чем достаточно для наших целей.

4.8 Светодиоды, резисторы, транзисторы

В следствии того, что в NI-6001 USB нет реле, надо использовать транзисторные ключи, для управления переключением катушек пневмораспределителей. Для этого были выбраны транзисторы IRLZ24, токоограничивающие резисторы $330\text{Ом}\pm 5\%$ с мощностью 0.125 Вт, подтягивающие к земле резисторы $200\text{кОм}\pm 5\%$ с мощностью 0.125 Вт и защитные диоды 1,5KE27.

Индикация осуществляется не только в программе, но и с помощью светодиодов. Были выбраны светодиоды АЛ307ГМ зеленые с силой тока 15 мА и падением напряжения 1.5 В.

Для подключения светодиодов рассчитает сопротивление резисторов:

$$R = \frac{U_{\text{п}} - U_{\text{д}}}{I_{\text{д}}} = \frac{5 - 1.5}{0,015} \approx 220 \text{ Ом} \quad (11)$$

Получается берем сопротивления $R_1=R_2=R_3$ равные $220\text{Ом}\pm 5\%$ с мощностью 0.125 Вт.

Для датчика перемещения нужно сопротивление подобрать так, чтобы максимальный уровень сигнала был равен максимальному выдвигению штока, то есть 300 мм. Было решено не подключать дополнительное оборудование, и откалибровать сигнал в программе.

4.9 Дополнительное оборудование

Разрабатываемый привод будет использоваться в лабораторных условиях, соответственно не будет подвергаться экстремальным условиям поэтому выберем стандартные фитинги серии 2000 с присоединением G1/8 (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Фитинги подобранные для данного проекта.

Трубки были выбраны с диаметром 6/4 мм, с диапазоном рабочих температур -20 °С до +100 °С и рабочим давлением до 10 Бар. Также были подобраны глушители 2901 1/8, с рабочим давлением до 10 Бар. На этом подбор пневматических и электрических элементов закончен.

5 Принципиальная схема

Принципиальная схема показывает полный состав элементов устройства и взаимосвязь между ними, не отражая при этом их взаимного расположения. В данном проекте целесообразно привести пневматическую и электрическую принципиальные схемы.

5.1 Принципиальная пневматическая схема

Пневматическая схема пневматического привода точного позиционирования приведена на рисунке 4.1.

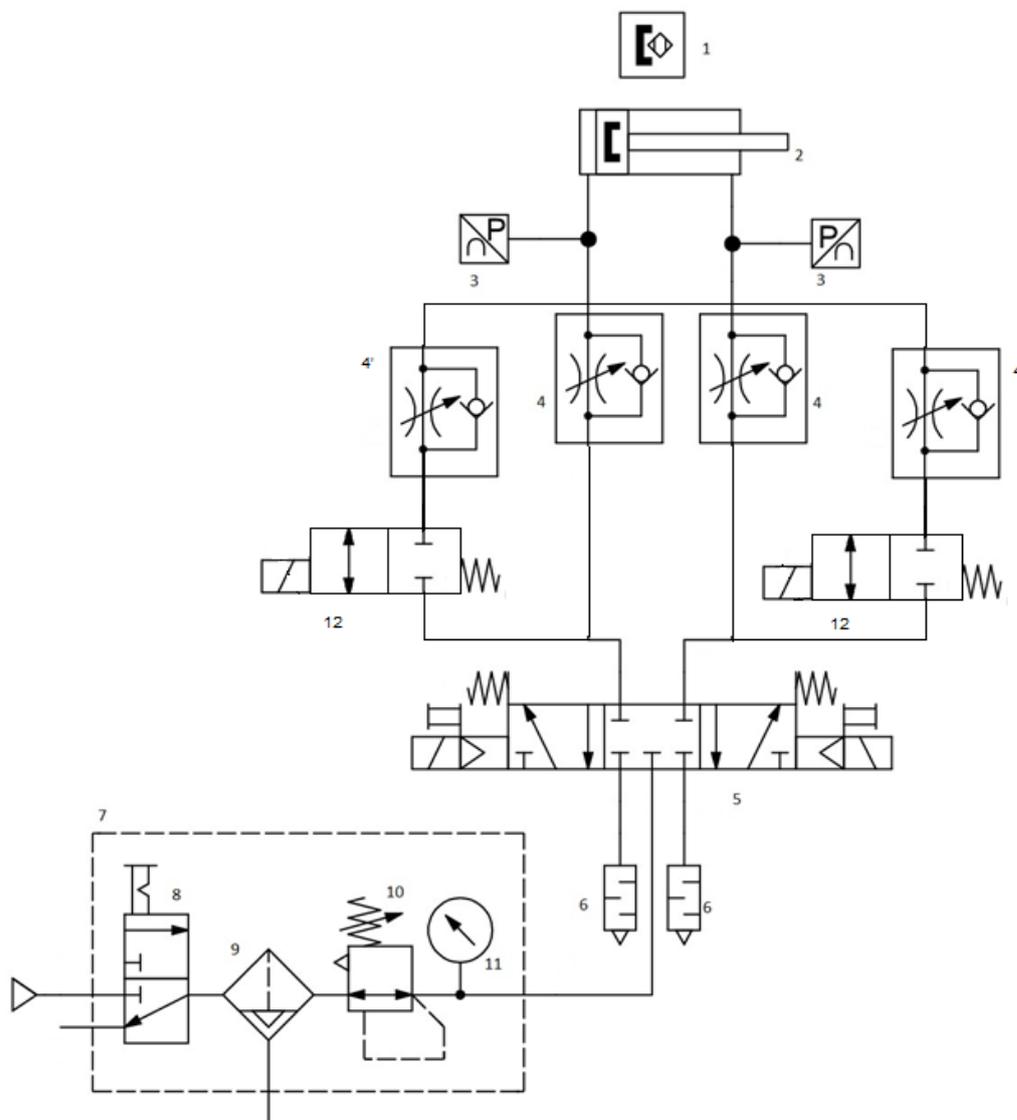


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема пневматического привода точного позиционирования.

Условные обозначения:

1 – датчик положения;

2 – шток пневмоцилиндра;

3 – датчики давления;

4 и 4' – регулирующие дроссели с обратным клапаном;

5 – моностабильный электропневматический распределитель 5/3;

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;

Движение штока регулируется таким образом: при переключении пневмораспределителя в крайнее левое положение сжатый воздух от компрессора подается в бесштоковую полость, шток начинает выдвигаться, и в штоковой полости возрастает давление. Избыточное давление из штоковой полости выходит через глушитель находящийся в пневмораспределителе. При переключении распределителя в среднее, полностью закрытое положение, движение штока останавливается. При переключении распределителя в крайнее правое положение, сжатый воздух от компрессора подается в штоковую полость, шток начинает втягиваться, и в бесштоковой полости возрастает давление. Избыточное давление из бесштоковой полости выходит через глушитель находящийся в пневмораспределителе. Скорость выдвигания и втягивания контролируется с помощью дросселей, с обратным клапаном. Для обеспечения разных режимов позиционирования используются распределители прямого действия 2/2, которые при подаче сигнала обеспечивают проход воздуха через более открытые дроссели (со штрихом), следовательно, скорость штока увеличивается. Контроль результата выполнения команды происходит с помощью датчика положения штока,

которые передает данные в устройство ввода-вывода. Для отслеживания физических процессов внутри цилиндра установлены датчики давления, которые также передают данные в устройство ввода-вывода.

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

5.2 Принципиальная электрическая схема

Принципиальная электрическая схема разрабатывается с учетом данных компонентов и требований ЕСКД [1]. По разработанной схеме составляется перечень элементов. Принципиальная электрическая схема и перечень элементов находятся в приложении А и Б

Слева вверху от устройства ввода-вывода показаны светодиоды, слева внизу транзисторные ключи для работы катушек пневмораспределителей. NI-6001 USB питается через USB от компьютера. Справа от устройства ввода-вывода показаны датчики и блок питания постоянного напряжения на 24В для датчиков напряжения. Датчик положения питается от самого NI-6001 USB напряжением в 5В.

6 Алгоритм работы системы

Для упрощения написания программы следует составить алгоритм работы, то есть написать последовательность действий от начала работы позиционного пневматического привода до полного выключения станда. В алгоритме рассматриваются следующие режимы работы: ручной, цикловой и позиционный.

При включении станда управляющему устройству приходит сигнал о выбранном режиме позиционирования: аperiodический, с временем позиционирования 75 секунд, или колебательный, с временем позиционирования 100 секунд. Для переключения между режимами используются пневмораспределители прямого действия 2/2. При выборе колебательного режима распределители прямого действия 2/2 переключаются, скорость штока становится больше, он начинает «проскакивать» требуемое положение. После прихода сигнала о подтверждении режима позиционирования, пользователю дается выбор из трех режимов работы. Приход сигнала сброса означает, что пользователь хочет выбрать другой режим работы и ему опять дается выбор из трех режимов.

При выборе ручного режима пользователь может полностью втянуть или выдвинуть шток. Если оператор нажал кнопку «втянуть», управляющее устройство подает питание на реле, происходит переключение распределителя и воздух подается в штоковую полость. Если оператор нажал кнопку «выдвинуть», то с помощью распределителя воздух подается в бесштоковую полость. Результат отобразится на экране. При поступлении сигнала сброса программа вернет оператора в выбор режима.

При позиционном режиме пользователь задает положение штока (с допустимой погрешностью). После введения оператором координаты, значение этой координаты вычитается из значения позиционного датчика. Если разность «входит в коридор погрешности», то шток остается неподвижен. Если разность не входит в коридор и положительна, то подается напряжение на реле и давление поступает в бесштоковую полость, шток

выдвигается. Если разность отрицательна и не входит в коридор, то напряжение подается на другое реле, воздух поступает в штоковую полость и шток втягивается. Опрос производится с частотой 10кГц. Когда шток достигнет нужного положения загорится зеленый светодиод. После этого пользователю предлагается записать другую координату или другой режим.

При цикловом режиме пользователь может задать две крайние координаты между которыми будет двигаться шток определенное количество раз. Сначала пользователю необходимо задать количество циклов от 0 до 100 раз. Затем ввести значение первой и второй крайней координаты. Положение штока, определяемое датчиком, сравнивается с заданным значением первой координаты. Если шток входит в коридор погрешности первой координаты, то реле переключается и давление подается в штоковую полость. Считывается значение с датчика положения и сравнивается со второй координатой. При достижении коридора погрешности второй координаты, реле переключается и давление подается в бесштоковую полость – шток движется к первой координате, цикл повторяется. Если шток не входит в коридор погрешности первой координаты, то воздух сначала подается в бесштоковую полость. При достижении коридора погрешности первой координаты цикл аналогичен выше описанному. При поступлении сигнала остановки шток останавливается, и программа дает возможность оператору выбрать другой режим. Алгоритм работы в различных режимах представлены на рисунках 5.1, 5.2 и 5.3. Полный алгоритм работы представлен в приложении Д.

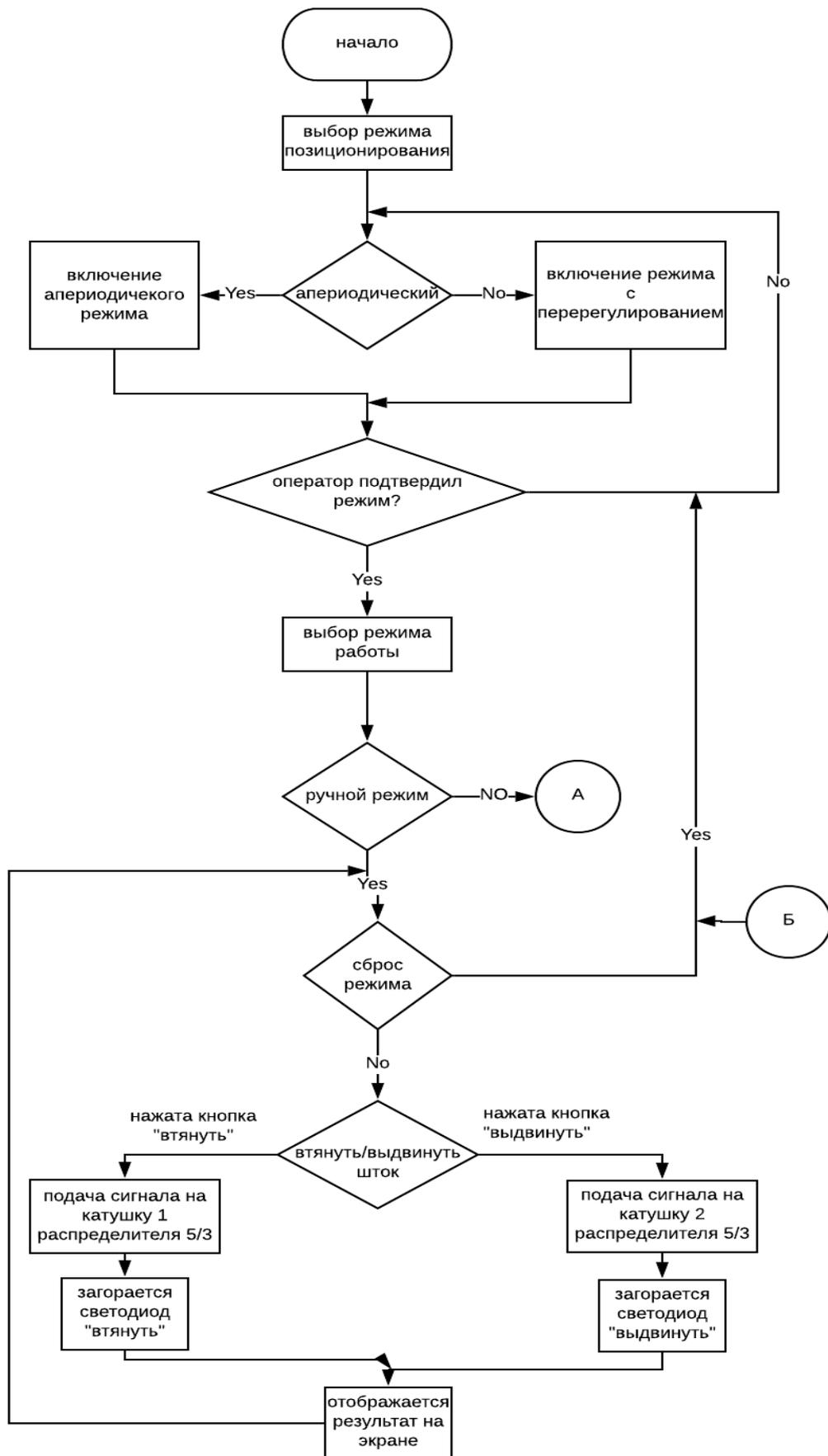


Рисунок 5.1 – Алгоритм работы

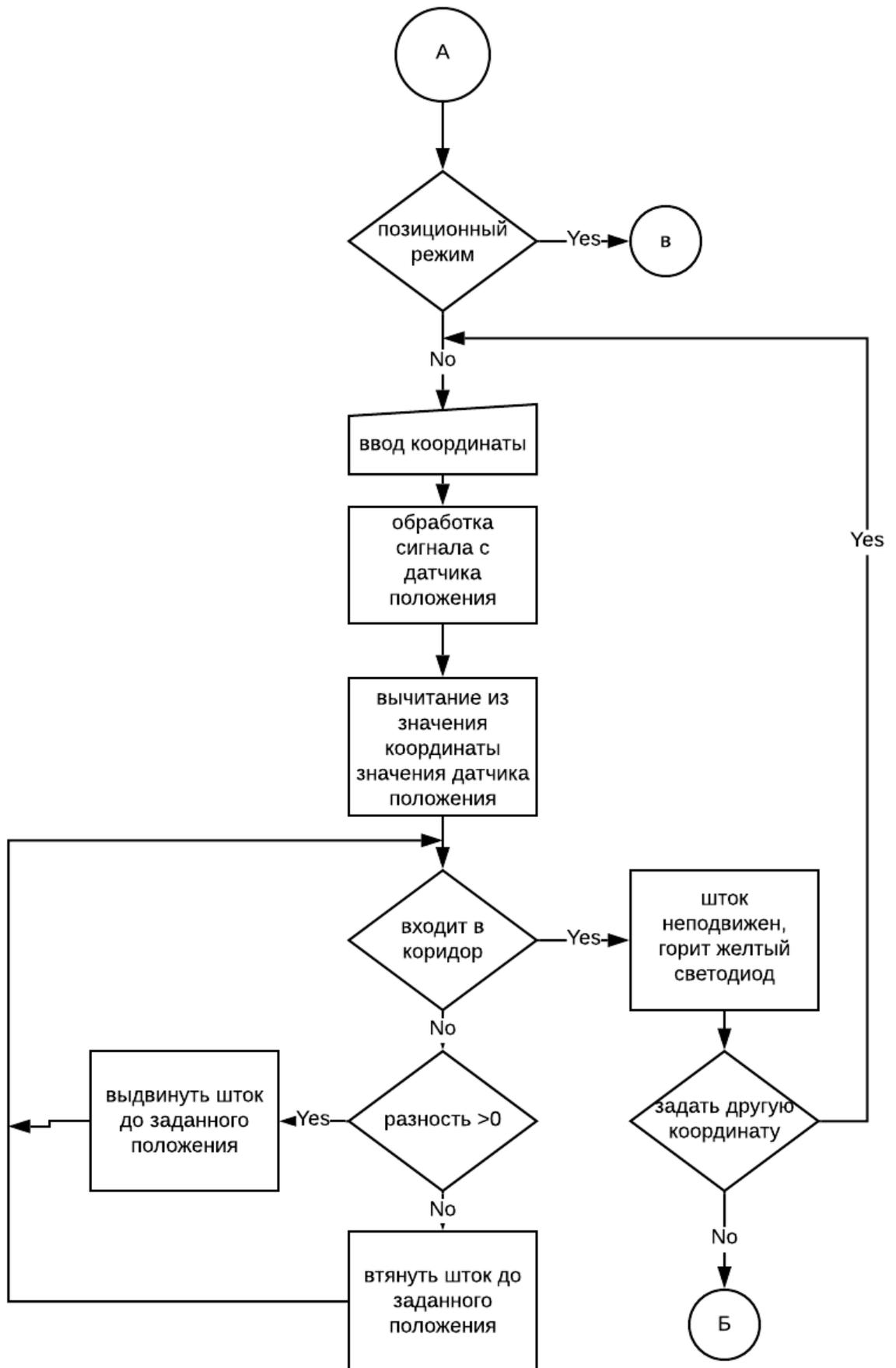


Рисунок 5.2 – Алгоритм работы (продолжение)

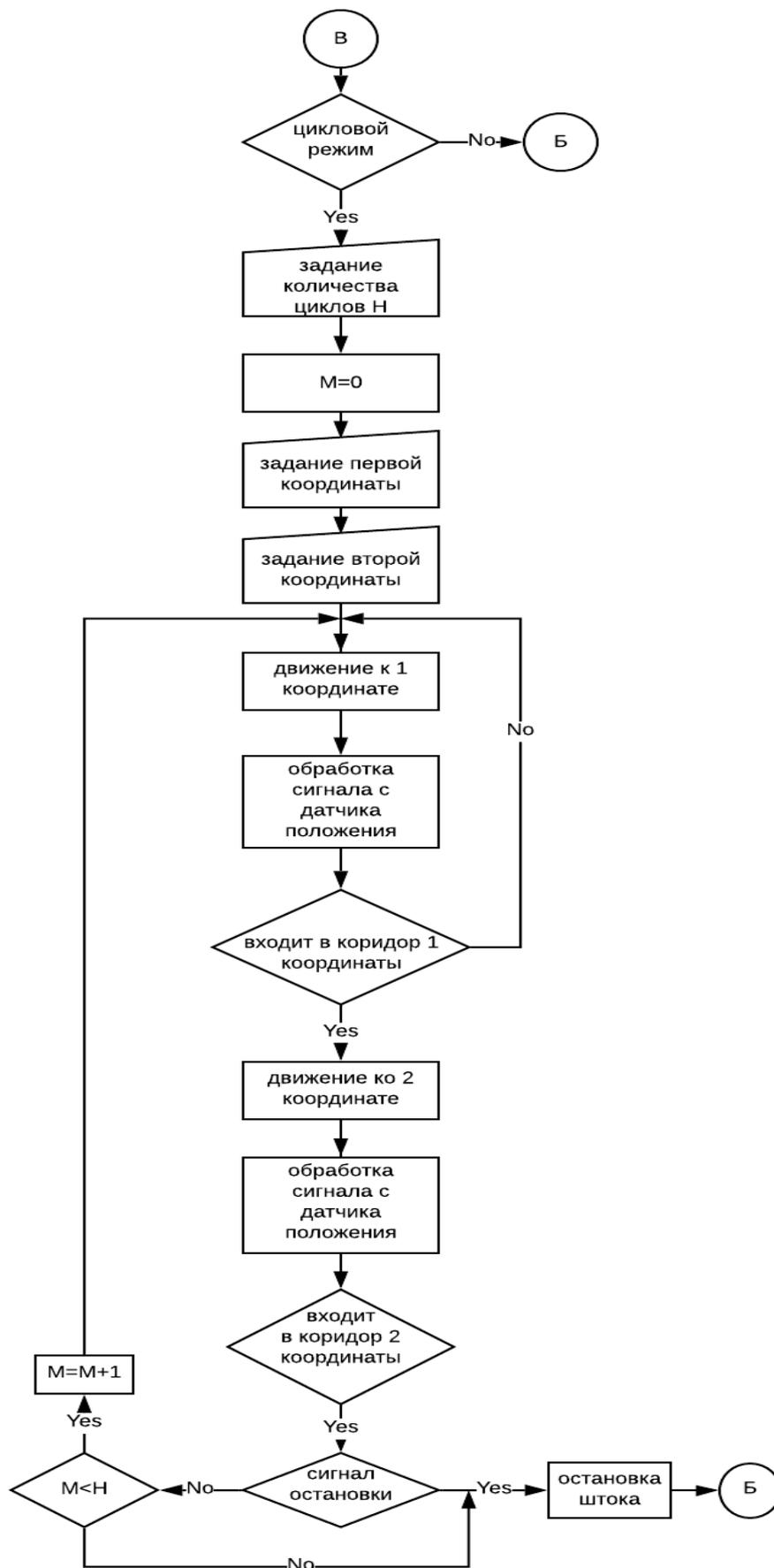


Рисунок 5.3 – Алгоритм работы (продолжение)

7 Разработка программы управления

На основе принципиальной схемы и алгоритма работы была разработана программа управления пневматическим приводом точного позиционирования в среде LabVIEW 18. Также в ходе работы был разработан HMI интерфейс SCADA-системы.

7.1 Программа

Для разработки программы была выбрана среда графического программирования LabVIEW 18 ввиду наглядности, удобства программирования, и возможности записи данных с датчиков в файл Excel.

Схема целиком представлена на рисунке 6.1.1. Рассмотрим работу программы подробнее. Сначала пользователь задает режим позиционирования и подтверждает его (рисунок 6.1.2). Создаются булевы переменные. Если после логического элемента сигнал «True», то открывается Case структура аperiodического режима позиционирования. Если «False», то колебательного режима. Наполнение этих двух структур абсолютно идентично, за исключением того, что в структуре колебательного режима подается сигнал на срабатывание распределителей прямого действия 2/2, а в аperiodическом на сброс сигнала на них (рисунок 6.1.3). Пример конфигурирования обращения к требуемому выходу на рисунке 6.1.4.

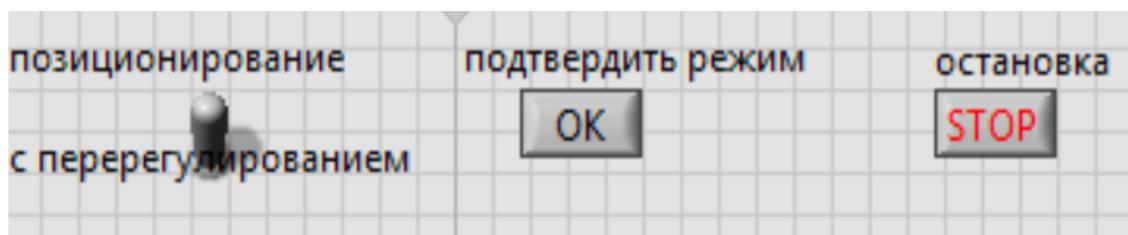


Рисунок 6.1.2 – Лицевая панель пользователя с рычагом выбора режима позиционирования, кнопкой подтверждения и кнопкой остановки и сброса.

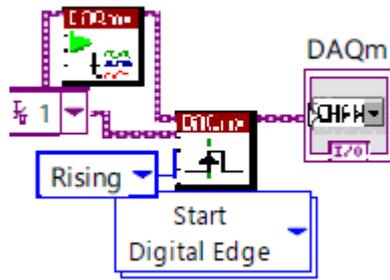


Рисунок 6.1.3 – Подача сигнала на катушки распределителей 2/2.

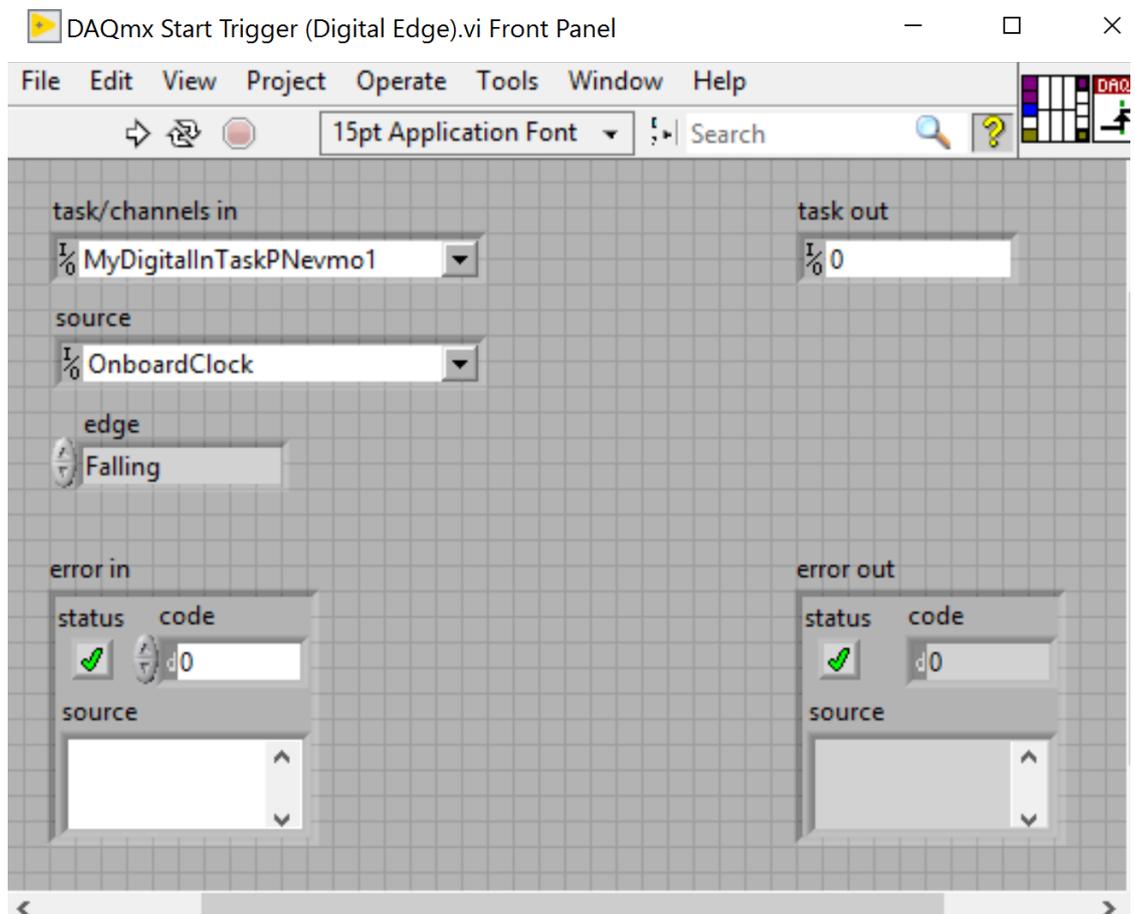


Рисунок 6.1.4 – Конфигурирование порта подключенного к катушке распределителя на спад.

Далее будем рассматривать только структуру аperiodического режима, так как уже было сказано, что они идентичны. В меню (рисунок 6.1.5) выбирается режим работы, и на Case структуру приходит номер строки выбора: 0, 1 или 2. Цифра 0 соответствует ручному режиму работы (рисунки 6.1.6 и 6.1.7). При нажатии на тумблер, на одну из катушек

пневмораспределителя подается питание - шток полностью выдвигается/втягивается и питание сбрасывается. При достижении штоком требуемого положения загорается соответствующий светодиод.

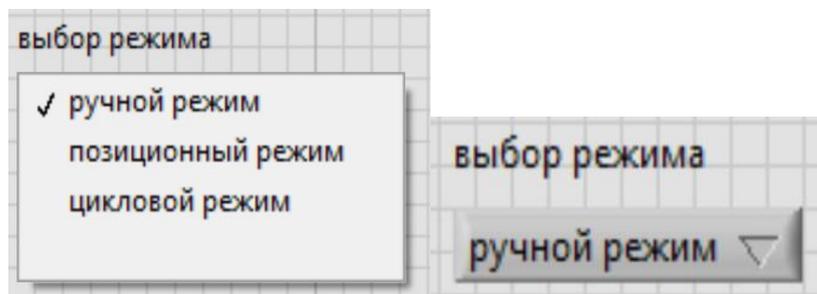


Рисунок 6.1.5 – Меню выбора режима на лицевой панели.

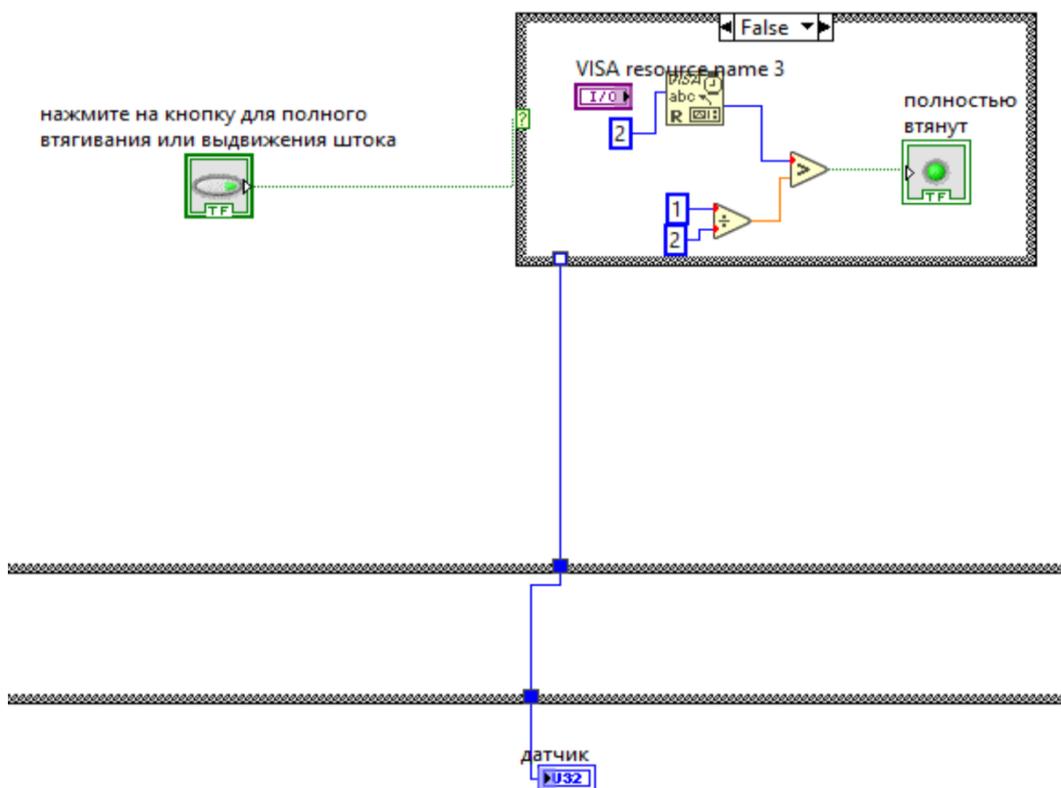


Рисунок 6.1.6 – Блок схема ручного режима работы.

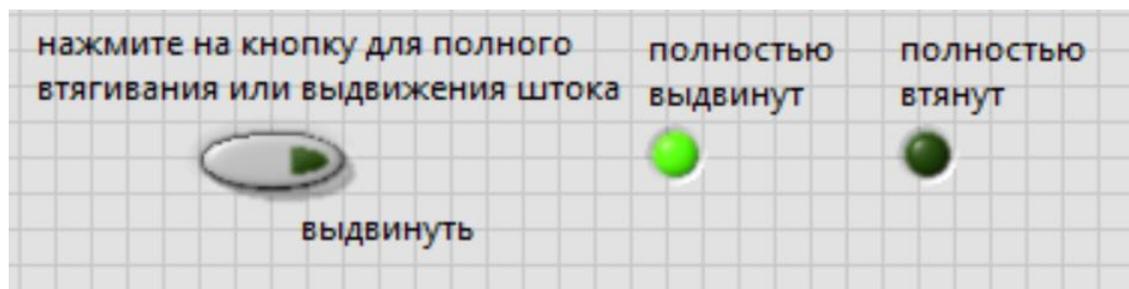


Рисунок 6.1.7 – Лицевая панель ручного режима работы.

Цифра 1 - Case структура режима позиционирования (рисунок 6.1.8). Структура становится гораздо сложнее чем в предыдущем режиме, но также строится на основе True/False сигналов. Пользователь на шкале (рисунок 6.1.9) задает требуемое положение штока. Стоит отметить, что в этом и следующем режимах, для приведения штока в движение пользователю необходимо нажать кнопку «ОК». Далее по описанному выше алгоритму значение сравнивается со значением с датчика и нулем. если на внешнюю Case структуру приходит True, и если значение больше нуля, то действует окно «выдвижение штока» (рисунок 6.1.8) в котором питание подается на левую катушку распределителя. При втягивании аналогично, питание подается на правую. Когда шток достигает своего положения, на внешнюю структуру приходит сигнал False и работает окно остановки (рисунок 6.1.10). также в окне остановки подается сигнал True и загорается светодиод.

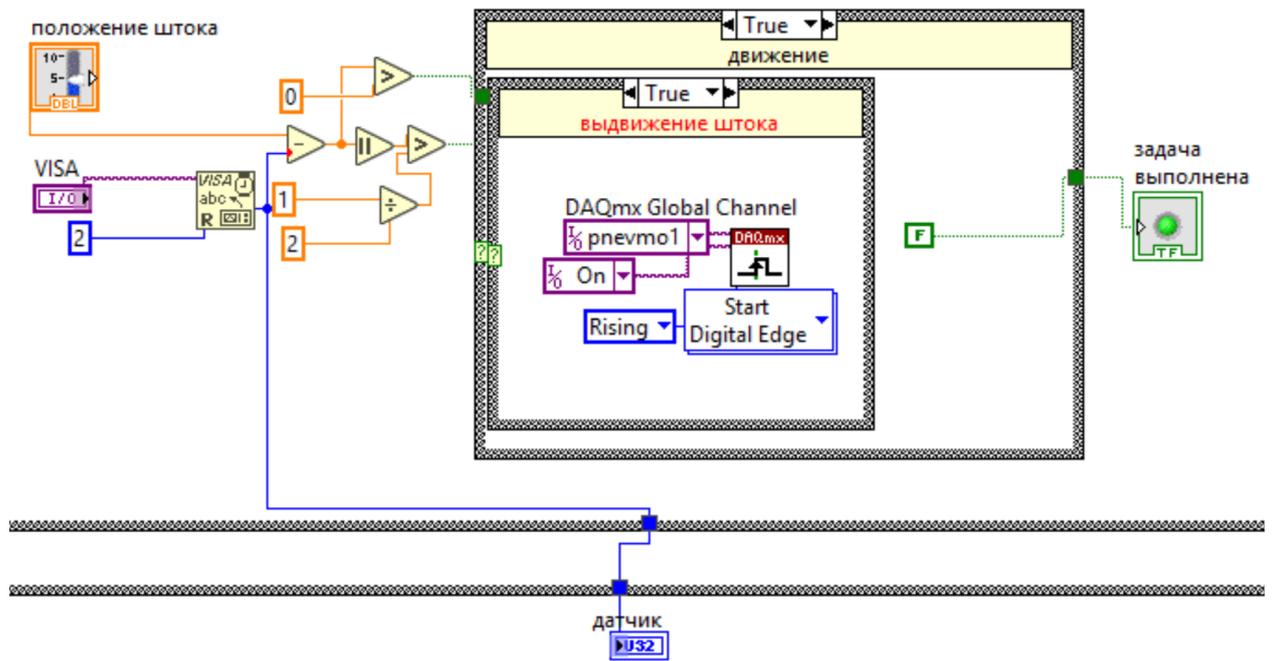


Рисунок 6.1.8 – Блок схема позиционного режима работы.

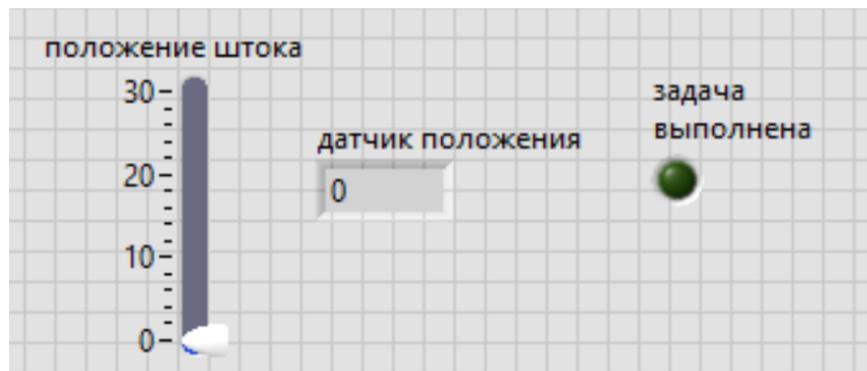


Рисунок 6.1.9 – Лицевая панель позиционного режима работы.

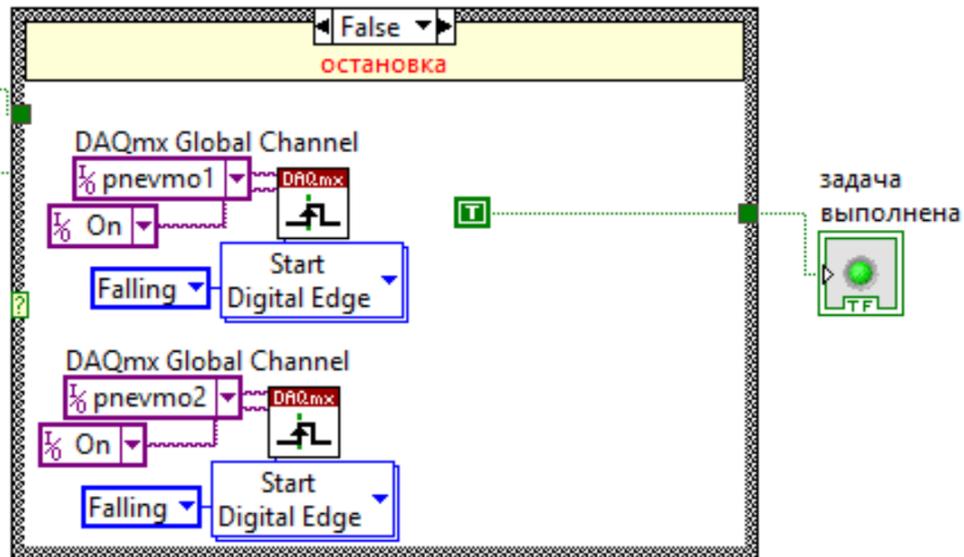


Рисунок 6.1.10 – Остановка штока при достижении требуемого положения.

Цифра 3 выводит окно циклового режима работы (рисунок 6.1.11). В его программе используется «кадровая структура», которая в свою очередь находится в цикле. Количество циклов и крайние положения пользователь задает на лицевой панели (рисунок 6.1.12). Внутри кадров принцип такой же как в позиционном режиме, сначала шток позиционируется у первого положения, затем у второго и так N количество раз. Счетчик циклов показывает какой по номеру цикл идет в настоящий момент.

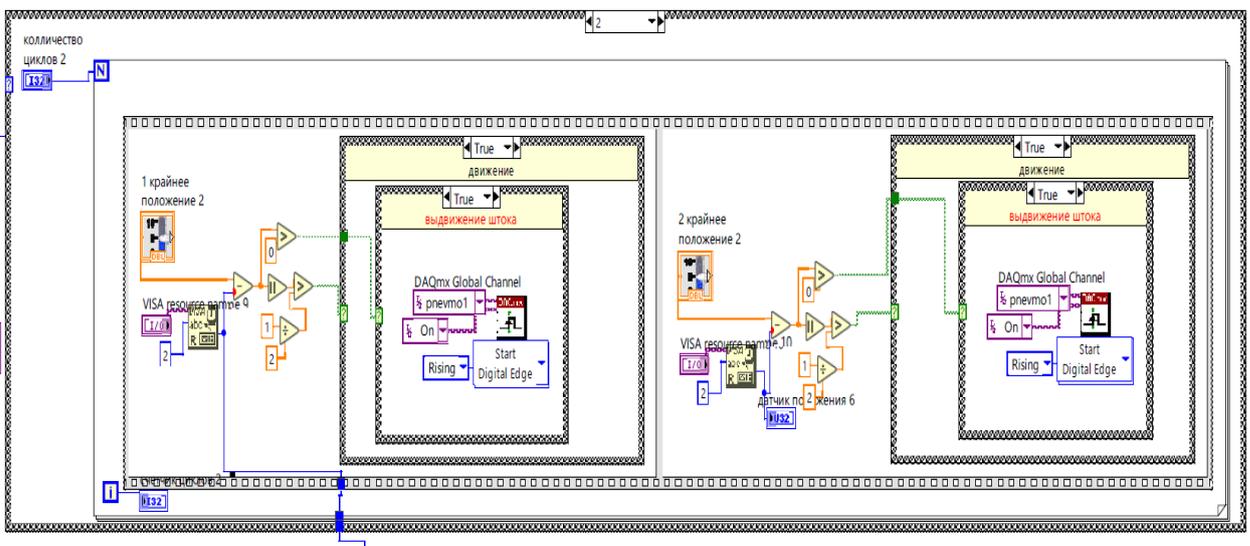


Рисунок 6.1.11 - Блок схема циклового режима работы.

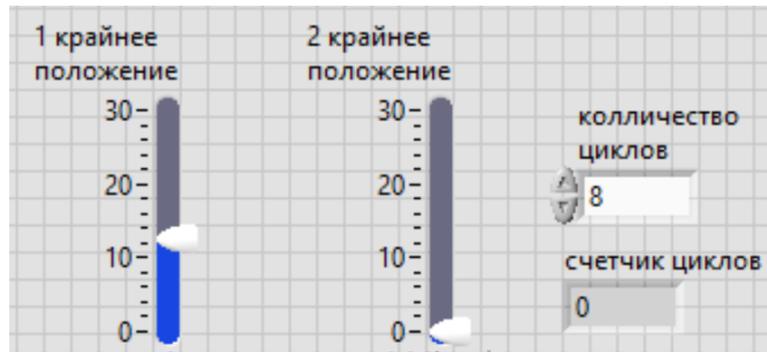


Рисунок 6.1.12 – Лицевая панель циклового режима работы.

В любой момент времени при нажатии на кнопку стоп, питание отключается и шток останавливается.

Запись в файл Excel реализуется с помощью простого алгоритма (рисунок 6.1.13). В выбранный файл Excel формата записываются данные с датчика положения. Аналогично для датчиков напряжения. Эти данные могут быть использованы для изучения физических процессов внутри пневмоцилиндра, для построения графиков и изучения динамики процессов.

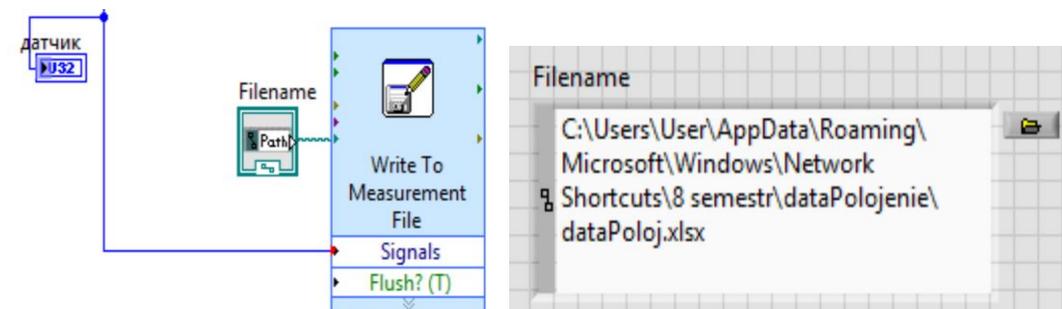


Рисунок 6.1.13 – запись значений с датчика положения в файл.

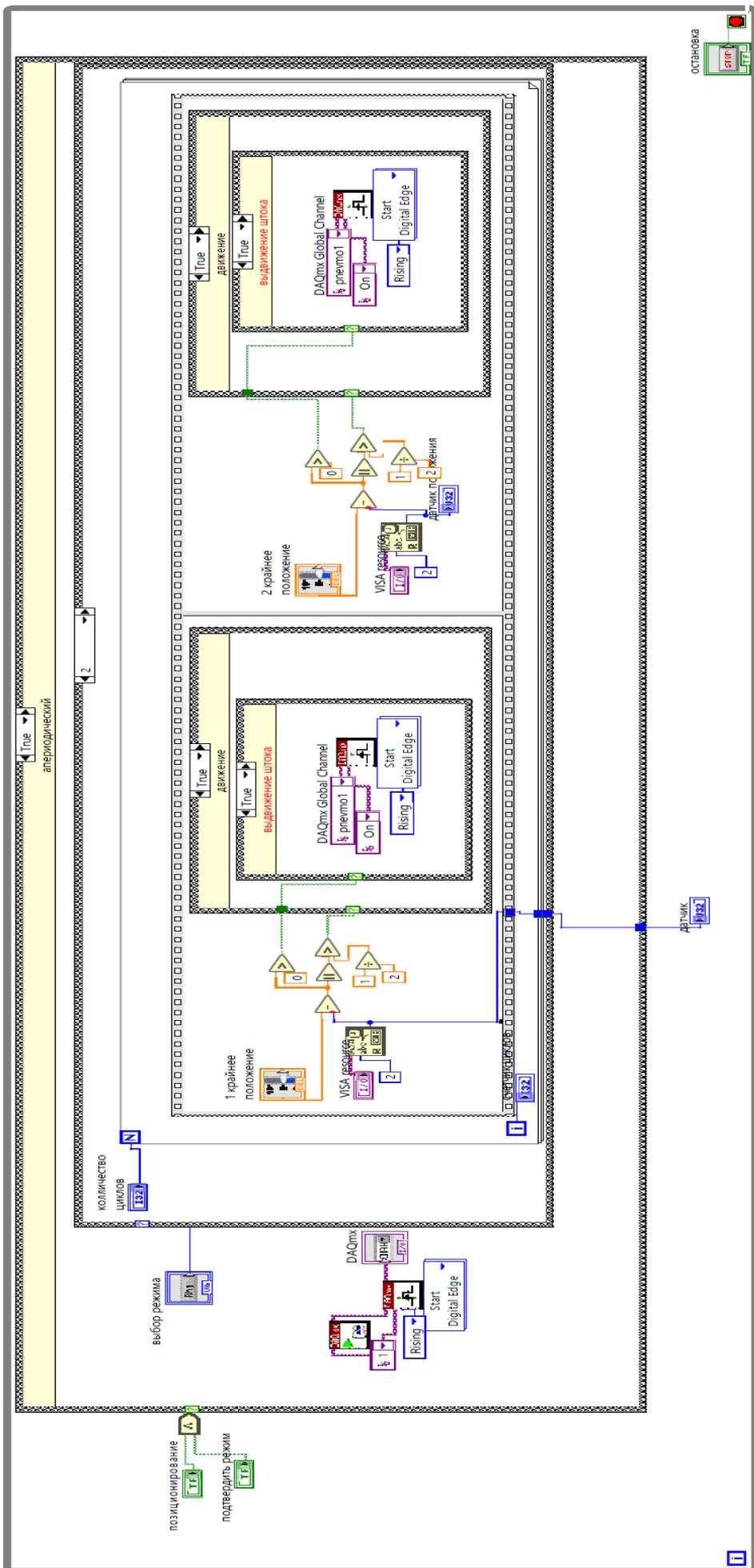


Рисунок 6.1.1.1 – Скриншот блок схемы для управления пневматическим приводом точного позиционирования

7.2 SCADA-система

SCADA (от англ. в переводе программа которая обеспечивает диспетчерское управление и сбор данных) — программный пакет, который используется для разработки программы управления или обеспечения работы установки в реальном времени. А также систем сбора информации, её дальнейшей обработки, а также наглядного для оператора-человека отображения и архивирования данных об объекте мониторинга или управления. SCADA-системы позволяют решать многие задачи такие как: обмен данными и информацией, между объектом управления и устройствами связи; обработка полученной от объекта информации в режиме реального времени; логическое управление объектом, с интуитивно понятным интерфейсом; отображение информации в удобной, легко читаемой оператором форме на экране монитора и многие другие.

При разработке SCADA-системы для пневматического привода точного позиционирования были учтены три режима работы, допустимые значения давления в полостях, а также возможность задания режима позиционирования. На рисунке 6.2.1 показан навигатор проекта и рабочая область с графическими элементами. Всего четыре основные области: область задания режима позиционирования, область выбора режима работы, область данных с датчиков и область всплывающих окон.

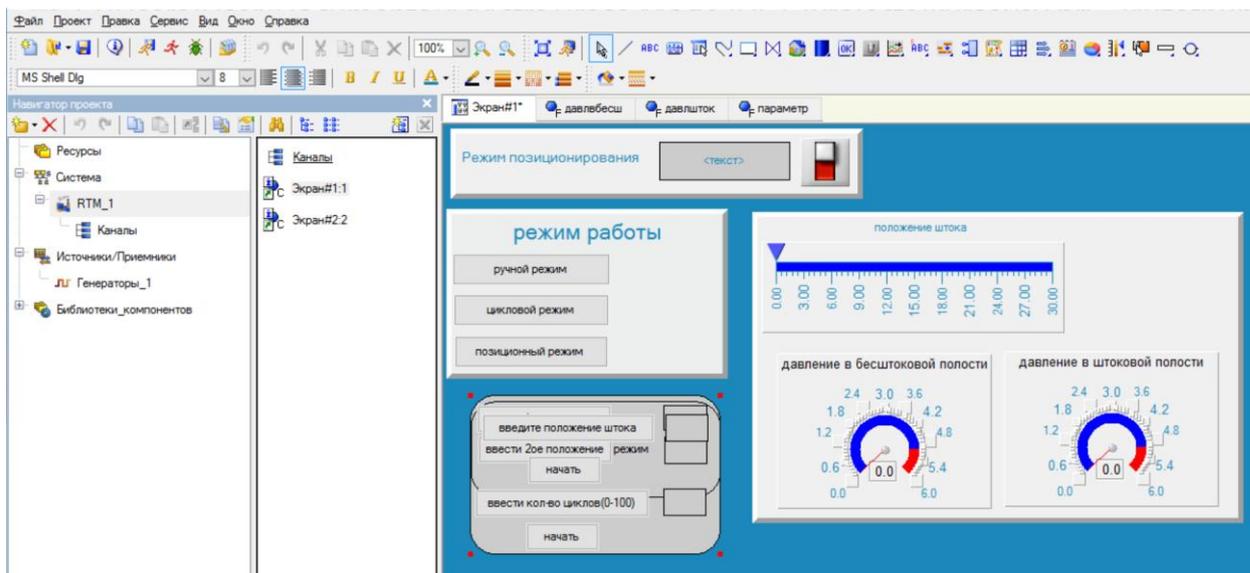


Рисунок 6.2.1 – навигатор проекта и редактор графических элементов.

На рисунке 6.2.2 показан запущенный профайлер: рабочая область программы. Сама программа еще не запущена, все индикаторы на нуле. Всплывающие окна скрыты.

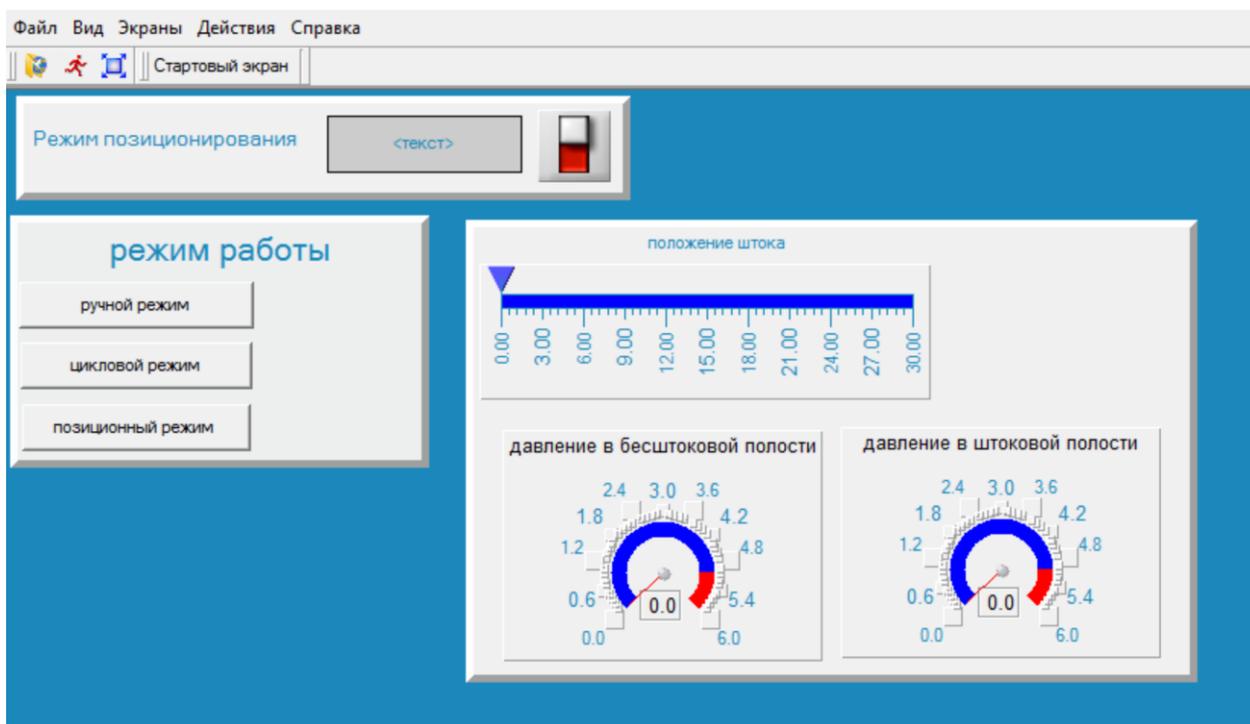


Рисунок 6.2.2 – профайлер программы.

В области режима позиционирования по умолчанию ставится аperiodический. Переключение на колебательный режим осуществляется с помощью выключателя. При выборе режима работы необходимо нажать на

кнопку с названием режима. После чего в открывшемся окне задать необходимые параметры.

В ручном режиме (рисунок 6.2.3) оператор может полностью втянуть или полностью выдвинуть шток путем нажатия на соответствующую кнопку. После выполнения операции загорается зеленый индикатор. Верхний если шток полностью выдвинут, нижний если полностью втянут. Меня с кнопками появляется при щелчке левой кнопкой мыши на всплывающем окне. Состояние штока и давление отображено на индикаторах.

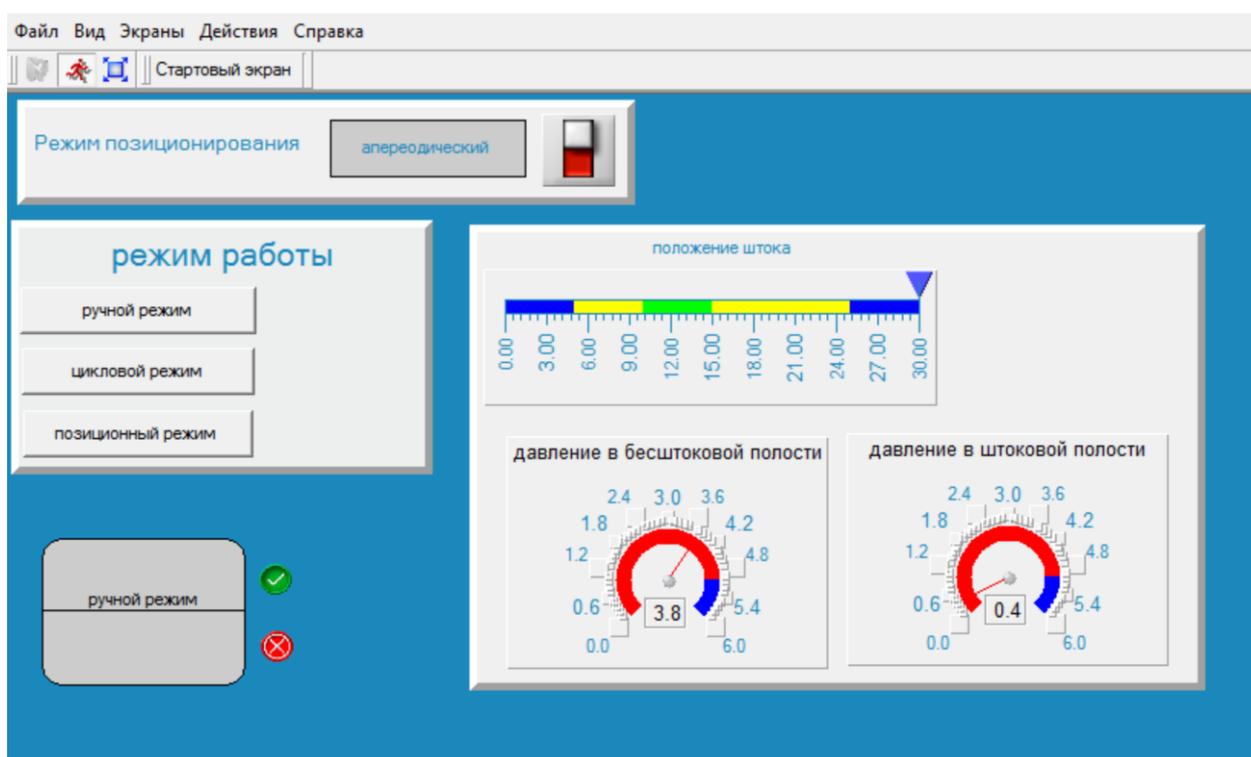


Рисунок 6.2.3 – ручной режим, шток полностью выдвинут.

В цикловом режиме (рисунок 6.2.4) оператор задает два крайних положения во всплывающем окне, а также количество циклов от 1 до 100. Затем необходимо нажать кнопку «начать». Один проход считается завершенным при возвращении штока в первое заданное положение. После прохождения заданного количества циклов программа останавливается. Данные с датчиков положения и напряжения отображаются на ползунке и стрелочных приборах.

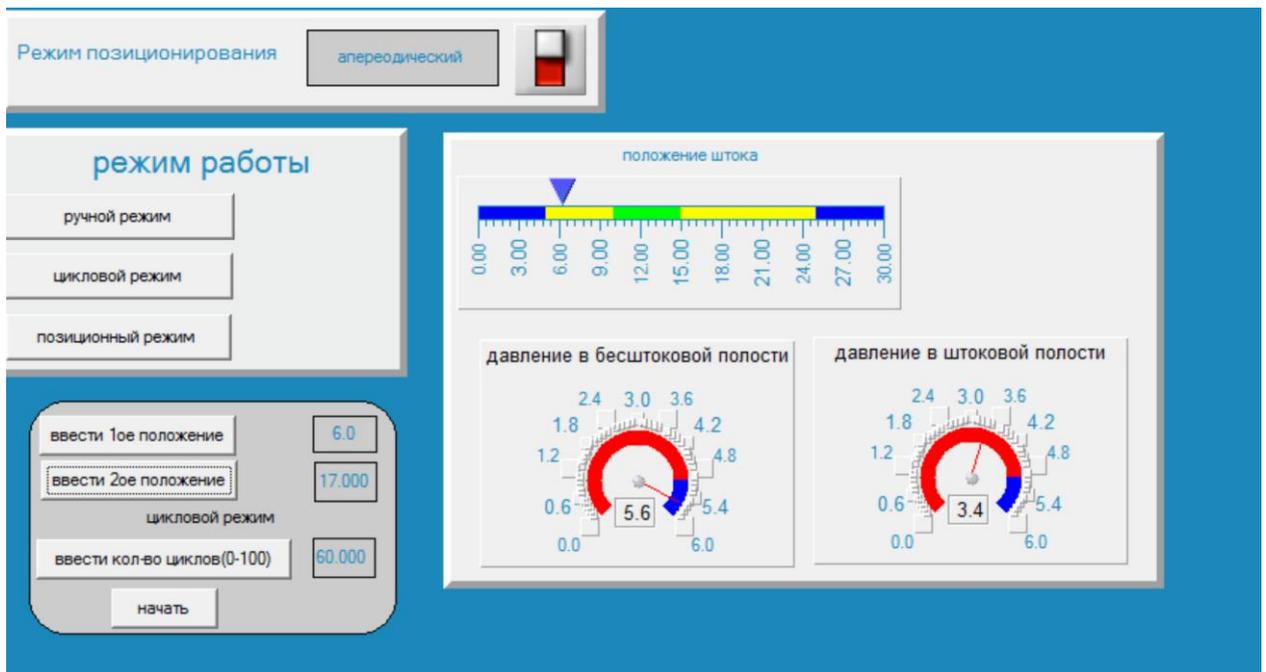


Рисунок 6.2.4 – Цикловой режим, шток находится в левом крайнем положении заданного цикла.

Во всплывающем окне позиционного режима (рисунок 6.2.5) оператор задает требуемое положение штока. После нажатия на кнопку «начать», шток занимает требуемое положение (рисунок 6.2.6).

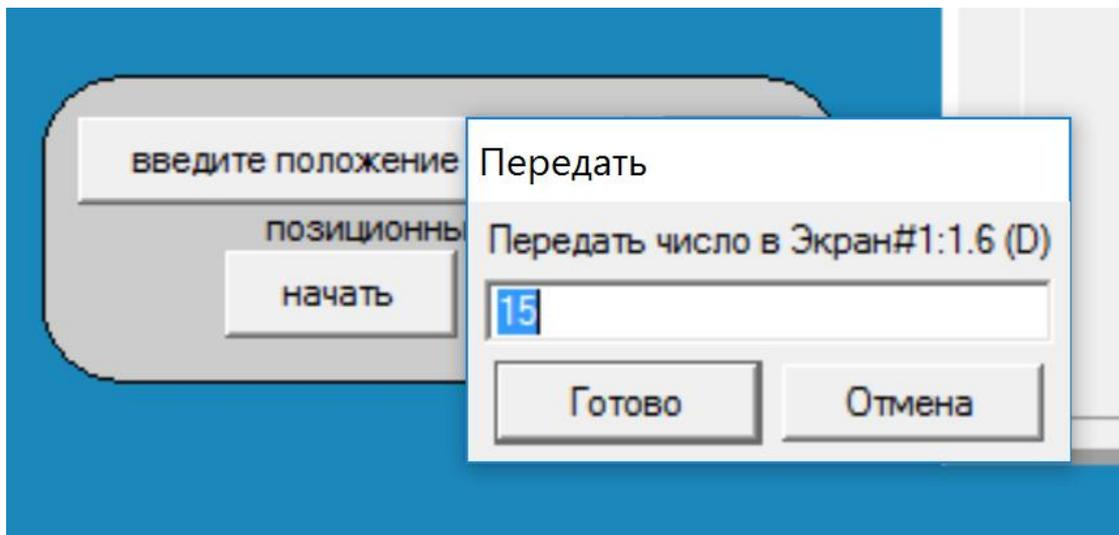


Рисунок 6.2.5 – позиционный режим, всплывающее окно для задания положения.

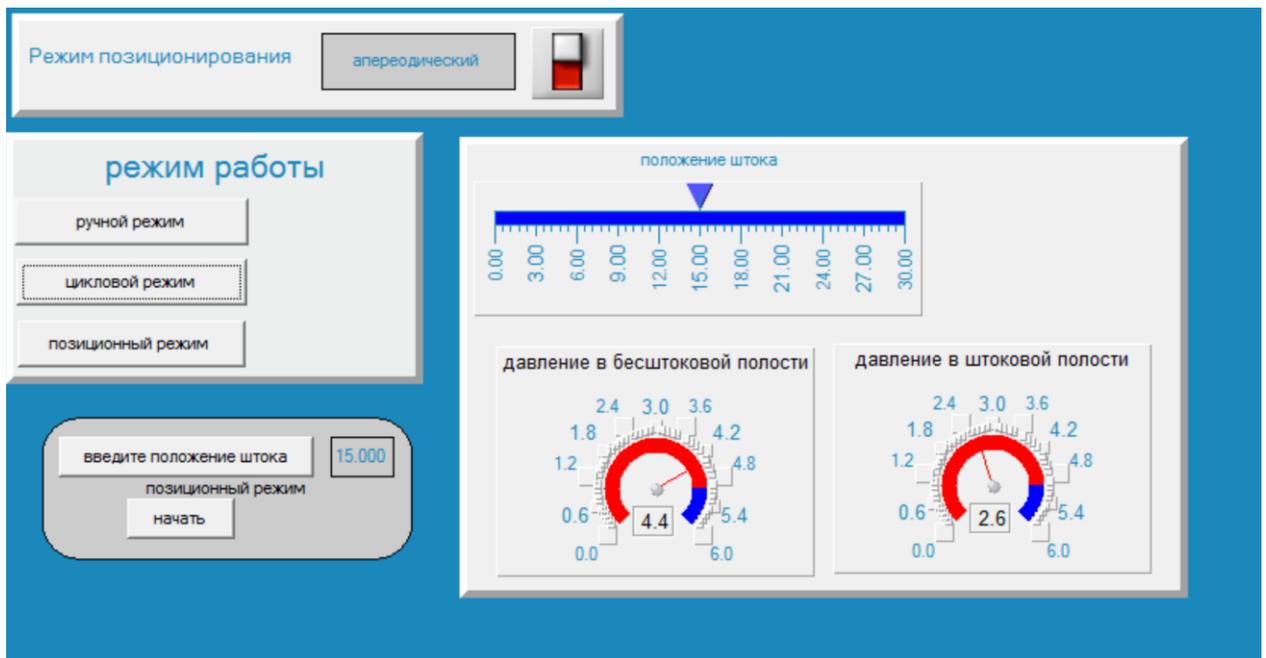


Рисунок 6.2.6 – позиционный режим, выполненная программа.

8 Моделирование в программе simcenter amesim

Для первоначального тестирования в программе Simcenter Amesim была создана модель пневматического привода точного позиционирования (рисунок 8.1), для всех характеристик были заданы значения реальных элементов.

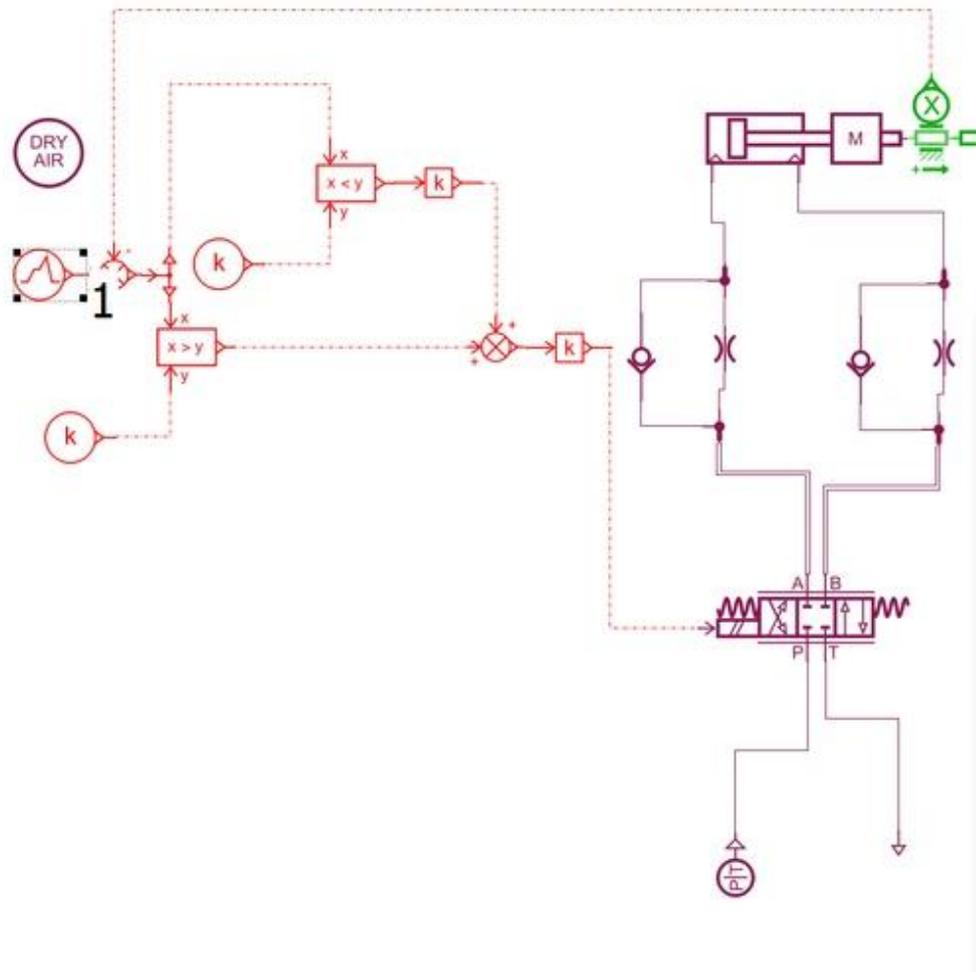


Рисунок 8.1 – Схема пневматического привода в программе Simcenter Amesim

На схеме отсутствует блок фильтрации так как параметры очищенного воздуха задаются в блоке «Dry Air». В нем задается тип газа и его параметры. На вход пневматического распределителя 5/3 подается 3 сигнала 0.1, 0.0 и 0.2. Работа датчика положения осуществляется с помощью подачи значения выходной координаты на сумматор. Коэффициент «K» обеспечивает зону

нечувствительности и, следовательно, небольшую погрешность. Без зоны нечувствительности достижение заданного значения происходило бы с сильными колебаниями.

В данной модели не реализована возможность переключения режимов позиционирования, так как в сам процесс моделирования распределители 2/2 и дополнительные дроссели не вносят существенных изменений, а логика образования и обработки сигналов сильно усложняется. Различные режимы позиционирования можно задать при изменении пропускной способности дросселей. На рисунке 8.2 показан аperiodический режим позиционирования.

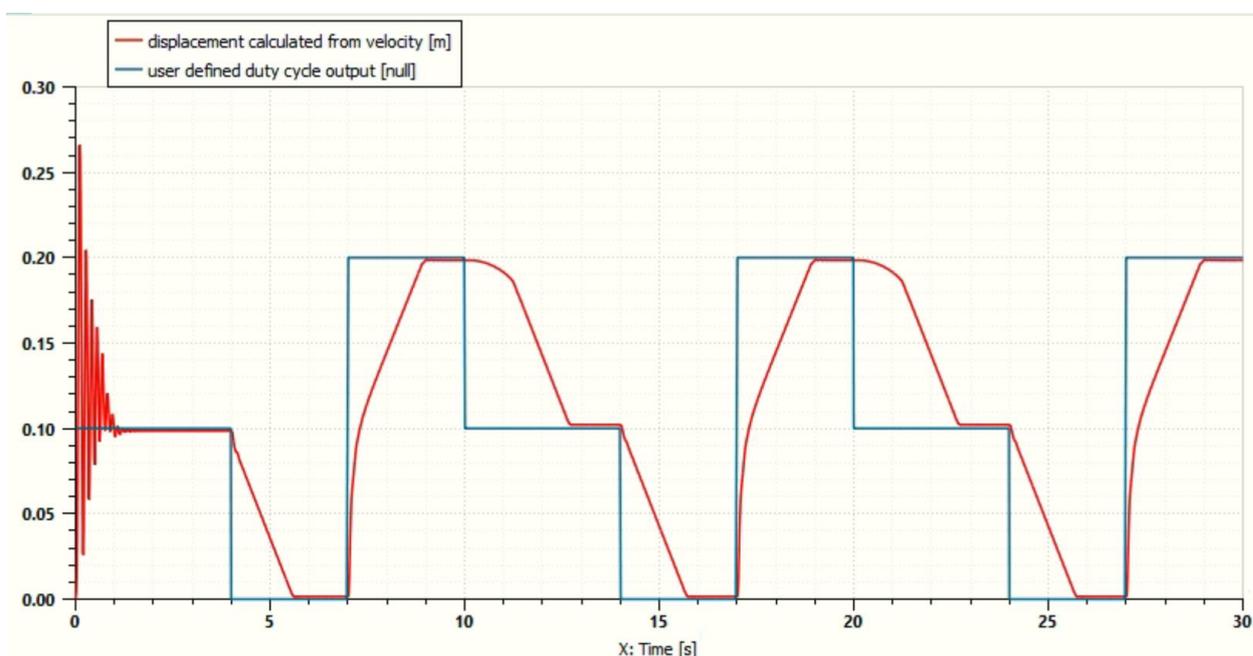


Рисунок 8.2 – График перемещения выходной координаты штока (красная линия) и график для входного сигнала на катушки распределителя (синяя линия). Аperiodический режим.

При приближенном рассмотрении графика (рисунок 8.3) видна погрешность K – красная линия не совпадает с синей. То есть значение выходной координаты не равно заданному значению. Но погрешность находится в допустимых пределах, и учитывалась и в реальном приводе.



Рисунок 8.3 – Погрешность позиционирования «К» - разница между красной и синей линией.

Для сравнения на рисунке 8.4 показан колебательный режим позиционирования. Для него в программе были заданы большее проходное сечение дросселя.

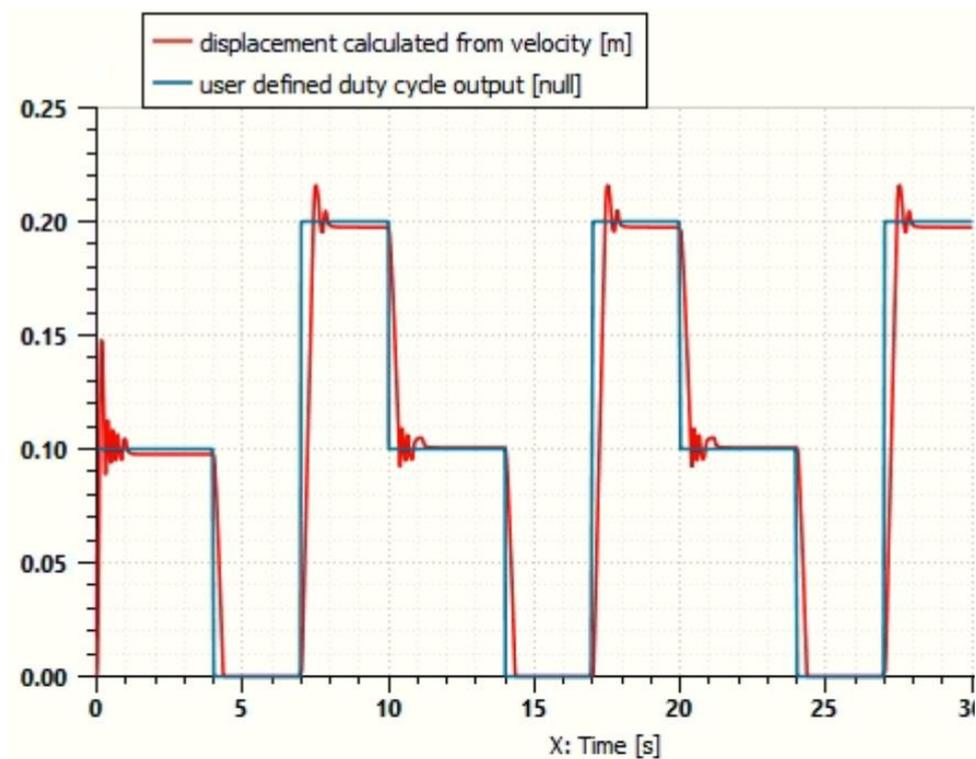


Рисунок 8.3 - График перемещения выходной координаты штока (красная линия) и график для входного сигнала на катушки распределителя (синяя линия). Колебательный режим.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы над проектом было проанализировано техническое задание, разработаны структурная схема всего привода, принципиальная пневматическая и принципиальная электрические схемы. На основе структурной схемы была подобрана элементная база. Для управления работой привода был разработан алгоритм, программа управления и SCADA-система.

Для тестирования привода была создана модель в программе Simcenter Amesim и получены графики перемещения выходного звена.

Таким образом был разработан пневматический привод точного позиционирования с точностью позиционирования 1мм , реализованы 3 режима работы и 2 режима позиционирования: апериодический с временем переходного процесса 1.3с и с перерегулированием с временем переходного процесса 1.7с и перерегулированием 20% , а также возможность записи данных с датчиков давления в файл Excel.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 ГОСТ 2.743 – 91. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники. [Текст] – Введ. 1993-01-01. – М.: Издательство стандартов, 2003. - 45 с.
- 2 Трифонов, О.Н. Приводы автоматизированного оборудования [Текст] / О. Н. Трифонов, В. И. Иванов, Г. О. Трифонова. - М.: Машиностроение, 1991.-336 с.
- 3 Свешников, В. К. Станочные гидро-пневмоприводы: справ. Библиотека конструктора [Текст] / В. К. Свешников. -4-е изд., перераб.и доп. М.- Машиностроение, 2004.-512 с.
- 4 ООО "НПО ПП". Пневмоэлектрический привод [Электронный ресурс] // NPOPP.RU: Группа компаний НПО Промышленный Привод. — 2012. — [URL: http://npopp.com/hydraulic/combined/83-hsd-55.html](http://npopp.com/hydraulic/combined/83-hsd-55.html) (дата обращения: 01.03.2020).
- 5 Дао Тхе Ань. Позиционный пневмопривод повышенного быстродействия и точности [Электронный ресурс] / Дао Тхе Ань//
- 6 SCIENCE.DONSTU.RU: Вестник ДГТУ — 2016 — URL: <http://science.donstu.ru/apex/p?n=110439602718936138> (дата обращения 01.03.2020).
- 7 Касимов, А. М. Некоторые результаты исследований в области пневмогидроавтоматики [Текст] / А. М. Касимов, А. Н. Шубин // Приборы и системы управления. - 1994. -. Вып. № 11. С. 34-37 с.
- 8 Сидоренко, В.С. Автоматизированный пневмотический провод [Текст]: учеб. способ. / В. С. Сидоренко, Д. Д. Дымочкин, В. И. Грищенко. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2011.-75 с.
- 9 Пневматическая аппаратура [Текст]: каталог Camozzi: разработчик и изготовитель Camozzi Пневматика. – М., 2012. – 1049 л
- 10 Учебное пособие Camozzi. Пневматика для всех [Текст]/ Camozzi spa Socleta Unlpersonale. –М., 2016. – С. 49-51.

- 11 Датчики давления для различных сред [Электронный ресурс] / SMC // SMC-PNEUMATIK.RU: SMC Corporation — 2018 — <https://wwwsmc138.valuehost.ru/c5/pse560.pdf> (дата обращения 10.04.2020)
- 12 Каталог Camozzi пропорциональные клапаны прямого действия: разработчик и изготовитель Camozzi Пневматика. – М., 2012. – 5 л
- 13 Лупов С.Ю., Муякшин С.И., Шарков В.В. LabVIEW в примерах и задачах. Учебнометодические материалы по программе повышения квалификации «Обучение технологиям National Instruments». Нижний Новгород, 2007, 101 с.
- 14 The LabVIEW User Manual © 1992–2003 National Instruments Corporation. All rights reserved.
- 15 SPECIFICATIONS NI USB-6001 [Электронный ресурс] // National Instruments – 2014 - <http://www.ni.com/pdf/manuals/374369a.pdf> (дата обращения 09.05.2020)
- 16 Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. Пособие/ С. М. Боровиков, И. Н. Цырельчук, Ф. Д. Троян; под ред. С. М. Боровикова. – Минск: БГУИР, 2010. – 68 с. : ил.
- 17 Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления. Техническая кибернетика. Книга 3. Исполнительные устройства и сервомеханизмы. Колл. авторов. Под ред. засл. деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук проф. В. В. Солодовникова. М., «Машиностроение», 1976. 735 с.
- 18 Гидропривод судовых люковых закрытий. Расчет показателей надежности: учеб.-метод. пособие / В.А. Очеретяный, О.Г. Лепеха2. – Севастополь: СевГУ, 2015. – 24 с.: ил.
- 19 Ансеров, М. А. Приспособление для металлорежущих станков расчет и конструкции [Текст] / М. А. Ансеров. - М.: Машиностроение, 1960. - 625 с

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Патентный обзор

Предмет поиска	Страна выдачи, вид и номер охранного документа. Классификационный индекс	Заявитель (патентообладатель), страна. Номер заявки, дата публикации	Название изобретения
1	2	3	4
Пневматический привод точного позиционирования	РФ RU 188660 U1 МПК: F41A 29/00	Заявитель: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ КАЗЕННОЕ ВОЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ВОЕННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СУХОПУТНЫХ ВОЙСК "ОБЩЕВОЙСКОВАЯ АКАДЕМИЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ" (RU) Номер заявки: 2018136254 Дата публикации: 2019.04.18 Дата подачи: 2018.10.15	Устройство для чистки стволов артиллерийских и танковых орудий
	РФ RU 2273779 C1 МПК: F16K 3/12 F16K 31/70	Заявитель: Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н.А. Доллежала" (RU) Номер заявки: 2004125791/06 Дата публикации: 2006.04.10 Дата подачи: 2004.08.24	Исполнительный механизм запорного устройства

РФ RU 2697163 C2 МПК: B60T 13/66 B60T 8/18	Заявитель: ФАИВЕЛЕЙ ТРАНСПОРТ ИТАЛИА С.П.А. (IT) Номер заявки: 2016148694 Дата публикации: 2018.07.02 Дата подачи: 2015.05.28	Электропневма- тическая тормозная система для железнодорож- ных вагонов
РФ RU 2584015 C1 МПК: A01K 5/02 H04N 7/00 H04L 29/06	Заявитель: Носов Сергей Анатольевич (RU) Титяева Татьяна Николаевна (RU) Номер заявки: 2015115141/13 Дата публикации: 2016.05.20 Дата подачи: 2015.04.22	Кормушка с функцией коммуникации с животным
РФ RU 2184340 C2 МПК: F42B 10/60 B64C 13/36 F42B 15/01	Заявитель: Государственное унитарное предприятие "Конструкторское бюро приборостроения" Номер заявки: 2000101456/02 Дата публикации: 2001.10.27 Дата подачи: 2000.01.17	Разомкнутый пневмопривод системы управления вращающейся ракетой и способ контроля его динамики
РФ RU 2337309 C1 МПК: F42B 10/60 B64C 13/36 F42B 15/01	Заявитель: Государственное унитарное предприятие "Конструкторское бюро приборостроения" (RU) Номер заявки: 2007101763/02 Дата публикации: 2008.10.27 Дата подачи: 2007.01.17	Релейный пневмопривод с вибрационной линеаризацией системы управления ракеты
РФ RU 2439383 C2 МПК: F15B 11/06 F15B 1/027	Заявитель: Закрытое акционерное общество "Завод "Знамя труда" (RU) Номер заявки: 2009100216/06 Дата публикации: 2012.01.10 Дата подачи: 2009.01.11	Пневмопривод
РФ RU 2174628 C1 МПК: F15B 9/03	Заявитель: Уфимское приборостроительное	Пневматический привод

		<p>производственное объединение Номер заявки: 2000108072/06 Дата публикации: 2001.10.10 Дата подачи: 2000.04.03</p>	
	<p>РФ RU 2374092 C1 МПК: B60K 20/00 G06F 9/00</p>	<p>Заявитель: Открытое акционерное общество "Научно-конструкторское бюро вычислительных систем" (RU) Номер заявки: 2008110663/11 Дата публикации: 2009.11.27 Дата подачи: 2008.03.19</p>	<p>Система управления электропневматическим приводом механической ступенчатой коробки передач</p>
	<p>РФ RU 2718382 C1 МПК: F15B 9/03</p>	<p>Заявитель: Общество с ограниченной ответственностью "Камоцци Пневматика" (RU) Номер заявки: 2019131551 Дата публикации: 2020.04.02 Дата подачи: 2019.10.07</p>	<p>Пневматический привод, система и способ управления пневматическим приводом</p>

Приложение А

Подробная структурная схема

АСЭУ.1024.17.001

Перв. примен.

Справ. №

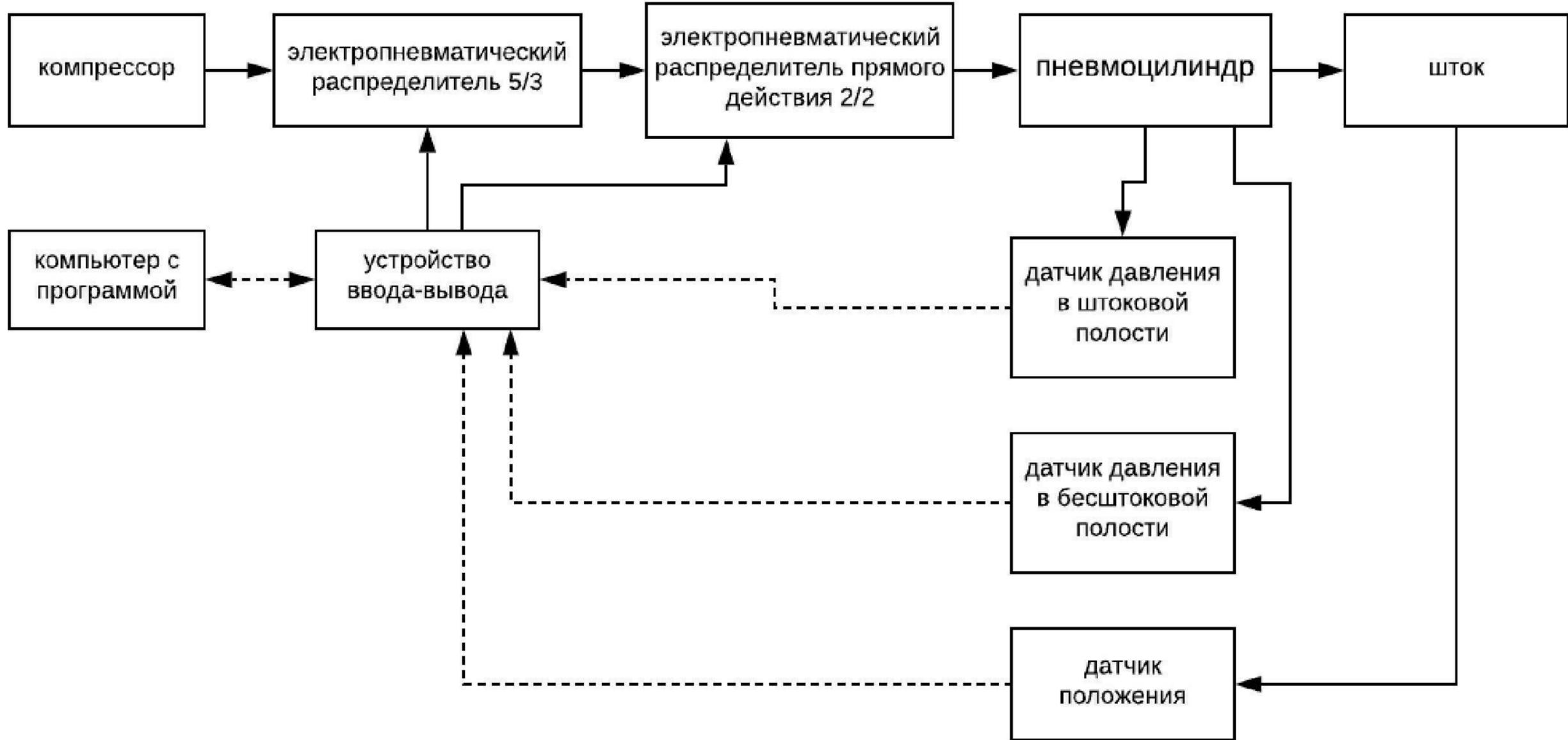
Подп. и дата

Изм. №

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.



					АСЭУ.1024.17.001			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Структурная схема пневматического привода точного позиционирования	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Дубова С. А.							1:1
Проб.	Иголкин А. А.					Лист	Листов	1
Т.контр.						СНИУ гр. 24 14		
Н.контр.								
Утв.								

Копировал

Формат А3

Приложение Б

Схема пневматическая принципиальная

АСЭУ.1024.17.002

Перв. примен.

Справ. №

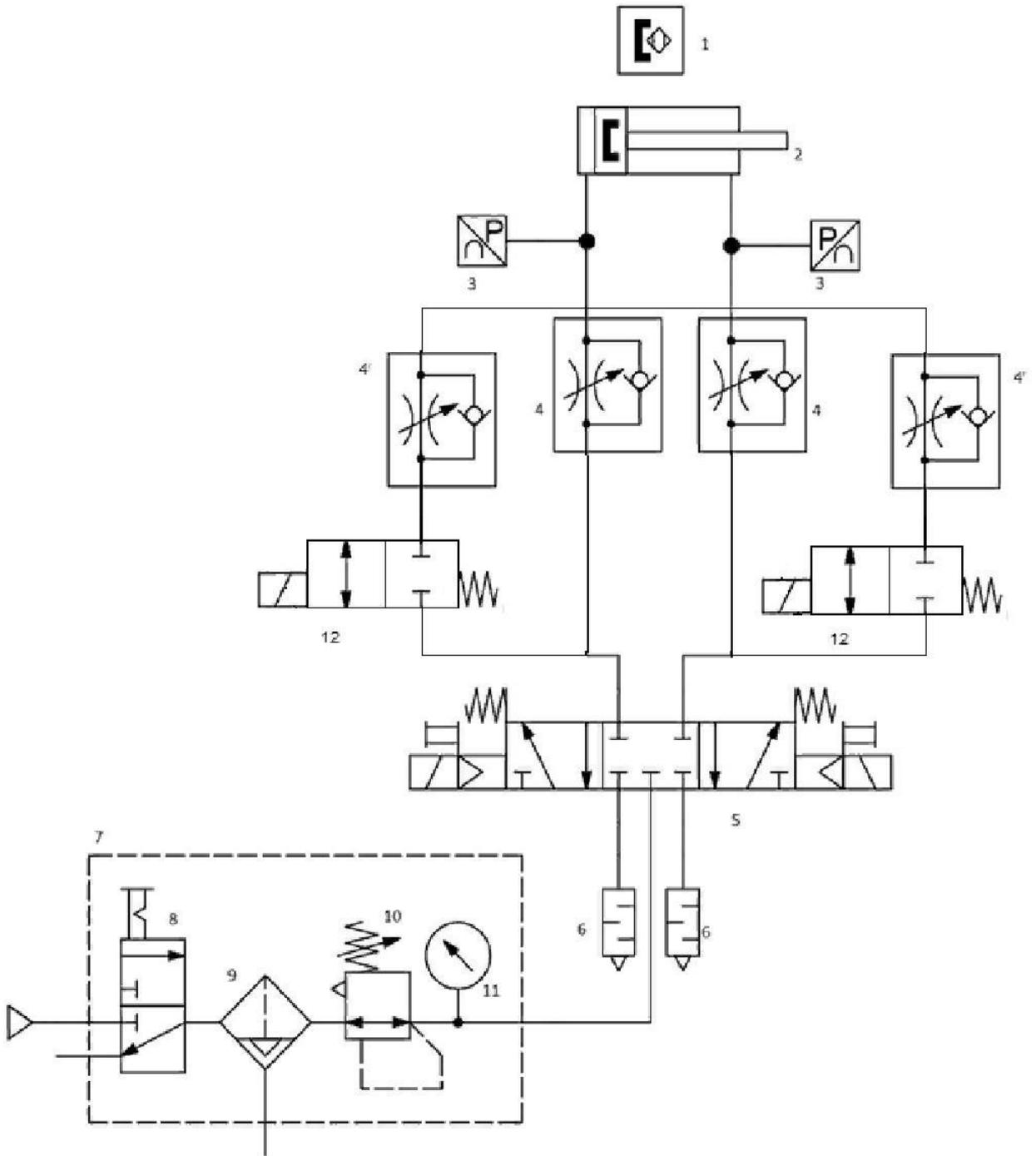
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



АСЭУ.1024.17.002

Пневматическая схема пневматического привода точного позиционирования

Лит. Масса Масштаб

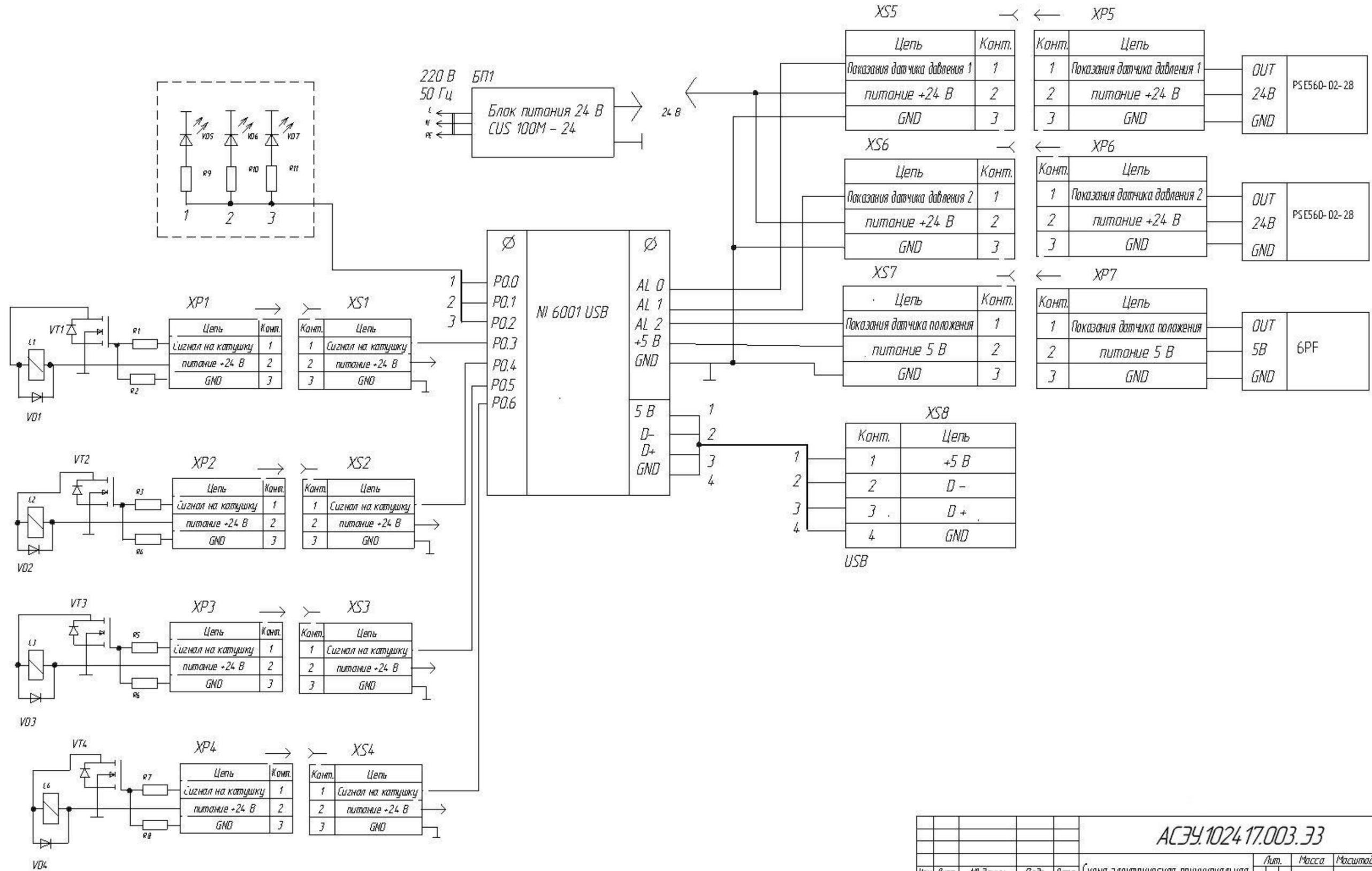
1:1

Лист 1

СНИУ гр. 2414

Приложение В

Схема электрическая принципиальная



Листов 1
Справ. №
Листов 1
Инд. № дроб.
Взлет инд. №
Листов 1
Инд. № лодки

АСЭУ.1024.17.003.ЭЗ				Лит.	Масса	Масштаб
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Схема электрическая принципиальная пневматического привода точного позиционирования	1:1	1
Разработ.	Войбо С.А.		02.05.20			
Проект.	Колесин А.А.					
Т.контр.						
И.контр.						
Утв.				Лист	Листов	1
				СНИУ зр. 24.14		

Приложение Г

Перечень элементов

АСЭУ.1024.17.003

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инд. № докл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

Поз.обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<u>Резисторы</u>			
R9-R11	C2-33 0,125-2200M±5% ОЖО.467.093ТУ	3	
R1,R3,R5,R7	C2-33 0,125-330M±5% ОЖО.467.093ТУ	4	
R2,R4,R6,R8	C2-33 0,125-200кОм±5% ОЖО.467.093ТУ	4	
<u>Диоды</u>			
VD5-VД7	Светодиод А/1307ГМ зеленые аА0.336.076ТУ	3	
VD1...VD4	Диод 1,5KE27	4	
<u>Транзисторы</u>			
VT1...VT4	Транзистор IRLZ24	4	
<u>Модули в сборе</u>			
	Устройство ввода-вывода NI 6001 USB	1	
Бп1	Блок питания СUS 100M - 24	1	
<u>Датчики</u>			
	Датчик давления PSE520-02-28	2	
	Пневматический цилиндр 6PF3P050A0300	1	

АСЭУ.1024.17.003

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пневматический привод точного позиционирования. Перечень элементов	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Дубова С. А.							1:1
Пров.	Иголкин А. А.					Лист 1	Листов 2	
Т.контр.						СНИУ гр. 2414		
И.контр.								
Утв.								

АСЭУ.1024.17.003

Поз.обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	<u>Разъёмы</u>		
XS1...XS8	Гнездо на плату, PBS-3(DS-1023 - 1x3), 2,54мм, прямое	8	
XP1...XP7	Вилка штыревая, PLS-3(DS1021-1x3), 2,54мм, прямая	7	

И-в. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	И-в. № докл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АСЭУ.1024.17.003	Лист
						2

Копировал

Формат А4

Приложение Д

Алгоритм работы

