

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Политехнический институт

Факультет машиностроения

Кафедра «Мехатроника и автоматизация»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

_____ В.Р. Гасияров

_____ 20__ г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ 15.03.06.2020.150 ПЗ (ВКР)

Разработка пневматического привода мехатронной системы подвижной каретки
стенда для проведения испытаний на механическую стойкость кабелей АО «ГРЦ
им. Макеева

Консультант по экономике
Профессор, доктор экономических наук

_____ Е.В. Кучина

Руководитель работы
доцент, кандидат технических наук

_____ А.С. Маклаков

Нормоконтролер
Преподаватель

_____ О.А. Гасиярова

Автор работы
студент группы П-456

_____ Р.Г. Такаутдинов
_____ 20__ г.

Консультант по проверке ВКР на
оригинальность
Ст. преподаватель

_____ С.С. Воронин

АННОТАЦИЯ

Такаутдинов Р.Г. Разработка пневматического привода мехатронной системы подвижной каретки стенда для проведения испытаний на механическую стойкость кабелей АО “ГРЦ им. Макеева” – Челябинск: ЮУрГУ, П-456, 2020, 70 с., 27 ил., 16 табл., библиогр. список – 16 наим.

Выпускная квалификационная работа (ВКР) выполнена с целью разработки мехатронной системы подвижной каретки стенда для проведения испытаний на механическую стойкость кабелей АО “ГРЦ им. Макеева”.

В ВКР рассмотрена организационная структура предприятия, отдела №38, а также, рассмотрен технологический процесс работы. Разработана архитектура системы автоматизации, функциональная схема САР, структурная схема САР контур системы автоматического управления мехатронной системы привода подвижной каретки.

С помощью пакета Simulink программы MATLAB разработана схема системы автоматического регулирования (САР) перемещения для типовых режимов работы привода, сняты переходные процессы, которые соответствуют заданным значениям требований к приводу.

Приведены технико-экономические расчёты, а именно: смета капитальных затрат, амортизационные отчисления, фонд оплаты труда. По итогу выполненной выпускной квалификационной работы проведена оценка эффективности капитальных вложений от внедрения результатов ВКР.

СОДЕРЖАНИЕ

1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	8
1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма.....	8
1.2 Характеристика проектируемого механизма	16
1.3 Требования к приводу.....	24
1.4 Расчёт и построение диаграммы перемещения.....	25
1.5 Выбор основного оборудования пневмопривода	30
1.6 Защита привода	31
2. РАЗРАБОТКА САУ	33
2.1 Разработка архитектуры систем автоматизации.....	33
2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат	34
2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САР привода пневматического стенда.	39
2.4 Разработка контура регулирования технологических координат.....	41
2.5 Разработка структурной схемы САУ и моделирование типовых режимов работы привода.....	47
3. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ	53
3.1 Краткая характеристика предприятия и ассортимента выпускаемой продукции	53
3.2 Расчет производственной программы цеха (расчет фактического годового фонда рабочего времени и производительности оборудования).....	54
3.3 Расчет сметы капитальных затрат	55
3.4 Расчет РСЭО	57

3.5 Расчёт затрат на материалы и на оплату труда со страховыми отчислениями.....	59
3.6 Расчет прибыли и показателей рентабельности	61
3.7 Расчет срока окупаемости проекта.....	64
3.8 Составление сводной таблицы технико-экономических показателей	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	68

ВВЕДЕНИЕ

Акционерное общество «Государственный ракетный центр имени академика В.П. Макеева» – стратегический холдинг оборонно-промышленного комплекса страны и ракетно-космической отрасли, головной разработчик жидкостных и твёрдотопливных ракетных комплексов стратегического назначения с баллистическими ракетами, один из крупнейших научно-конструкторских центров России по разработке ракетно-космической техники

Отдел № 38 является головным исследовательско-экспериментальным подразделением по обеспечению долговечности разрабатываемых АО «ГРЦ Макеева» изделий при эксплуатации их в условиях агрессивных воздействий окружающей и внутренних сред в соответствии с ТТЗ на разработку изделий.

Головная роль отдела осуществляется путем:

- разработки технических решений в обеспечение долговечности, реализуемых в конструкторской и эксплуатационной документации,
- организации исследовательских и экспериментальных работ по вопросам отработки и подтверждения долговечности.

В основе отдела лежат новейшие автоматизированные системы. Данные системы объединяют в себе комплекс электромеханических, электрогидравлических, электронных элементов и средств вычислительной техники, объединенные общей системой автоматического управления

Необходимым условием разработки таких систем является анализ технологического процесса, позволяющий подобрать необходимое оборудование. Для выстраивания производственного процесса с заданными технологическими параметрами требуется разработать систему автоматического управления. Далее целесообразно определить экономическую оценку уместности использования выбранного оборудования на производственной линии.

Главной целью выпускной квалификационной работы является разработка пневматического привода мехатронной системы подвижной каретки стенда для проведения испытаний на механическую стойкость кабелей

Достижение указанной цели осуществлялось путём решения основных задач:

1. Описать технологический процесс отдела №38 АО "ГРЦ им. Макеева";
2. Определить требования к пневмоприводу и системе автоматизации;
3. Определить систему привода;
4. Построить расчётную диаграмму перемещений;
5. Разработать архитектуру системы автоматизации, выбрать контроллер и датчики технологических координат;
6. Разработать функциональную схему САР привода мехатронной системы, контур регулирования положения пневмоцилиндра и структурную схему САР, провести моделирование типовых режимов работы привода;
7. Определить производственную программу мехатронной системы пневматического привода мехатронной системы подвижной каретки стенда;
8. Рассчитать смету капитальных затрат, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, произвести оценку эффективности капитальных вложений.

1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма

Отдел создан с целью:

1. Обеспечения и подтверждения требуемой долговечности разрабатываемых АО «ГРЦ Макеева» изделий на основе научно-исследовательских, расчетно-аналитических и экспериментальных работ на всех стадиях;
2. Экспериментального подтверждения стойкости к климатическим и коррозионным условиям эксплуатации изделий АО «ГРЦ Макеева», а также к коррозионным воздействиям спец. Сред – компонентов топлива и других коррозионно-активных веществ, применяемых в конструкции изделий;
3. Дополнительно, с учетом технической возможности экспериментальной базы отдела, экспериментального подтверждения стойкости к климатическим условиям эксплуатации изделий РКТ, продукции производственно-технического назначения и товаров народного потребления в заявленной области аккредитации.

Отдел обеспечивает выполнение следующих основных задач:

1. Разработка конструктивных мероприятий в части обеспечения долговечности изделий по результатам анализа условий эксплуатации по тактико-техническому заданию;
2. Разработка мероприятий по обеспечению долговечности (комплексная программа экспериментальной отработки гарантийного срока, срока эксплуатации, срока службы изделия и т.п.) разрабатываемых АО «ГРЦ Макеева» изделий;
3. Методическое обеспечение работ по отработке гарантийного срока, срока эксплуатации, срока службы;

4. Оценка полноты выполнения требований по обеспечению заданной долговечности в выпускаемой конструкторской документации и эксплуатационной документации и их согласование;
5. Методическое обеспечение работ по продлению срока эксплуатации серийных изделий;
6. Экспериментальное подтверждение долговечности незаправленных изделий;
7. Теоретические и экспериментальные исследования по перспективным и проблемным вопросам долговечности, создание научно-технического задела для перспективных изделий;
8. Курирование работ по разработке и установлению гарантийного срока на покупные резинотехнические изделия в организациях-разработчиках;

Отдел в соответствии с возложенными на него задачами выполняет следующие функции:

На этапе техпредложений:

1. Разработка раздела пояснительной записки по обоснованию возможности выполнения требований по гарантийным срокам, срокам эксплуатации;
2. Участие в разработке исходных данных по условиям эксплуатации изделия и головной части, в части внесения требований по допустимым воздействиям агрессивной окружающей среды и мероприятиям по защите от них на всех стадиях эксплуатации (согласование);
3. Разработка видов общих в части внесения необходимых требований по:
4. обеспечению стойкости конструкции к агрессивным атмосферным условиям эксплуатации;
5. гарантийной сохранности и применению уплотнений и других элементов конструкции на основе резинотехнических изделий, поставляемых по кооперации;
6. Разработка исходных данных по составу газовой среды в замкнутых отсеках изделия;

На этапе эскизного проекта:

1. Разработка раздела пояснительной записки по выполнению требований тактико-технического задания по гарантийному сроку, сроку эксплуатации;
2. Разработка исходных данных по допустимым концентрациям паров компонентов топлива в отсеках и полостях изделия и в объекте;
3. Разработка исходных данных по гарантийным срокам составных частей изделия с учетом продолжительности технологического цикла изготовления;
4. Участие в разработке исходных данных по условиям эксплуатации изделия, в части внесения требований по допустимым воздействиям агрессивной окружающей среды и мероприятиям по защите от них на всех стадиях эксплуатации;
5. Участие в разработке исходных данных по температурно-влажностным характеристикам атмосферы в отсеках и полостях изделий и в объекте (согласование);
6. Участие в разработке исходных данных по примененным материалам: металлам и неметаллам (согласование);
7. Разработка проекта комплексной программы экспериментальной отработки гарантийных сроков, сроков эксплуатации разрабатываемых АО «ГРЦ Макеева» изделий;
8. Разработка предложений в виды общие по обеспечению гарантийной сохранности узлов уплотнений с РТИ, поставляемых по кооперации;

На этапе рабочей конструкторской документации:

1. Разработка комплексной программы экспериментальной отработки гарантийных сроков, сроков эксплуатации разрабатываемых АО «ГРЦ Макеева» изделий;
2. Разработка требований по герметичности и методик отработки герметичности топливных систем ракет в течение гарантийного срока;
3. Разработка рабочей конструкторской документации (согласование в части оценки полноты внесения необходимых требований по обеспечению гарантийной сохранности);

4. Разработка рабочей конструкторской документации (согласование в части оценки полноты внесения необходимых по нормативной документации требований в конструкцию узлов с резинотехническими изделиями, поставляемых по кооперации);
5. Разработка технического задания на разработку резинотехнических изделий, поставляемых по кооперации, для узлов уплотнения в конструкции изделия институтам резиновой промышленности на основании технических требований отделов-разработчиков;
6. Разработка технического задания на разработку комплексных макетов или экспериментальных узлов, предназначенных для подтверждения гарантийного срока, срока эксплуатации;
7. Разработка технического задания на разработку экспериментальных узлов по плану-графику экспериментальных работ, в том числе для ускоренных климатических испытаний в смежных организациях;
8. Разработка технического задания на разработку нестандартного оборудования для проведения климатических и коррозионных испытаний макетов и экспериментальных узлов в отделе 38;
9. Разработка технического задания на монтаж средств измерения на макетах или экспериментальных узлах;
10. Разработка электрических схем на системы измерения макетов и экспериментальных узлов;
11. Согласование и ведение контрактов с организациями-разработчиками РТИ;
12. Разработка конструкторской документации на макеты по ведомости общей сборки для отработки долговечности (согласование в части соответствия требованиям ТЗ);
13. Разработка программ обеспечения надежности (ПОН) составных частей систем изделия (согласование в части оценки полноты предусмотренных в них расчетно-аналитических работ и испытаний по подтверждению долговечности);

14. Разработка раздела в плане-графике экспериментальных работ в части изготовления экспериментальных узлов и нестандартного оборудования и испытаний экспериментальных узлов на долговечность;

На этапе наземной экспериментальной отработки:

1. Участие в конструкторском макетировании в части защиты от коррозии, герметичности топливных систем, поставляемых по кооперации;
2. Разработка программ и методик УКИ макетов по ВОС на долговечность;
3. Разработка программ ускоренных климатических испытаний;
4. Разработка программ и методик испытаний экспериментальных узлов с резинотехническими изделиями (согласование в части оценки полноты внесения необходимых требований к испытаниям отделами-разработчиками и возможности проведения испытаний на экспериментальной базе отдела);
5. Разработка техпроцесса на подготовку к испытаниям и на коррозионные или климатические испытания макетов и экспериментальных узлов на испытательной станции отдела 38;
6. Авторский надзор при изготовлении макетов по ведомости общей сборки, экспериментальных узлов и технологической оснастки по плану-графику экспериментальных работ, в том числе предназначенных для отработки долговечности, на предприятиях-изготовителях;
7. Работы с изделиями, макетами, экспериментальными узлами:
 - транспортировка по территории предприятия на технологическом транспорте,
 - погрузо-разгрузочные работы с применением грузоподъемных сооружений: мостового крана, кран-балки, электро-тельфера и авто или электро-погрузчиков,
 - транспортировка с применением технологической оснастки в полезный объем климатической камеры,
 - разборка-сборка макетов изделий с использованием грузоподъемных сооружений,

- проверки на функциональность, на герметичность,
- электропроверки;
- Оформление карточки учета неисправности (КУН) в случае выявления неисправности при испытаниях в отделе.
- Участие в дефектации изделий, макетов, экспериментальных узлов после УКИ, в том числе в смежных организациях;
- Дефектация изделий, макетов, экспериментальных узлов после УКИ путем разборки, разрезки и т.п. на испытательной станции отдела по программам дефектации отделов-разработчиков изделий и СЧ изделий;
- Разработка итоговых отчетов-заключений по подтверждению ГС, СЭ на составные части по КПЭО ГС, СЭ.В соответствии с целями и задачами в структуре отдела предусмотрены 3 подразделения: сектор долговечности, испытательная станция и участок по обслуживанию корпуса 21.

Сектор (38.1) долговечности состоит из:

- а) группы (38.1.1) обеспечения долговечности изделий на жидком и твердом топливах;
- б) подгруппы (38.1.1.1) обеспечения долговечности изделий в части полимерных и композиционных конструкций;
- в) группы (38.1.2) обеспечения долговечности изделий в атмосферных условиях;
- г) группы (38.1.3) курирования отработки РТИ.

Испытательная станция (38.2) состоит из:

- а) группы (38.2.1) ведущих испытания на климатические воздействия;
- б) группы (38.2.2) подготовки испытаний на климатические воздействия;
- в) группы (38.2.3) метрологического обеспечения, измерений и регистрации параметров при испытаниях на климатические воздействия;
- г) группы проведения испытаний на климатические воздействия; обслуживания и ремонта испытательного оборудования (38.2.4), в состав которой входят рабочие: испытатели, слесари-испытатели, слесари-электромонтажники, слесари

механосборочных работ, которые непосредственно проводят работы по испытаниям на долговечность и по обслуживанию климатического и технологического оборудования.

Участок (38.3) по обслуживанию корпуса 21, в состав которого входят уборщики производственных и служебных помещений.

Формирование структурных звеньев и назначения их руководителей производится с учетом объемов работ и нормативов численности.

В состав отдела входят сотрудники, непосредственно подчиненные начальнику отдела:

- а) заместитель начальника отдела – начальник испытательной станции;
- б) начальник сектора;
- в) ведущий инженер;
- г) заведующий хозяйством.

3.4 В состав испытательной станции отдела входят сотрудники, непосредственно подчиненные заместителю начальника отдела-начальнику испытательной станции:

- а) руководители групп 38.2.1, 38.2.2, 38.2.3, 38.2.4;
- б) энергетик (по климатическому оборудованию);
- в) кладовщик.

Для коллегиального рассмотрения и решения принципиальных научных, технических и производственных вопросов в отделе создается научно-технический совет (НТС) или АТС, в состав которого входят его ведущие специалисты.

Из числа работников отдела назначаются:

1. Уполномоченный по отделу 1;
2. Уполномоченный по обеспечению режима секретности;
3. Ответственный за конфиденциальное делопроизводство;
4. Уполномоченный по делам го и чс отдела;
5. Ответственный за пожарную безопасность;
6. Ответственный за табельный учет;

7. Ответственный за электрохозяйство;
8. Ответственный за эксплуатацию пэвм;
9. Ответственный за мероприятия пир, выдачу ид по инновационной деятельности;
10. Уполномоченный по учету и хранению специзделий;
11. Администратор безопасности локальных вычислительных сетей;
12. Первичное звено ответственных за пожарную безопасность.

Структурная схема управления отделом приведена на рисунке 1.1.

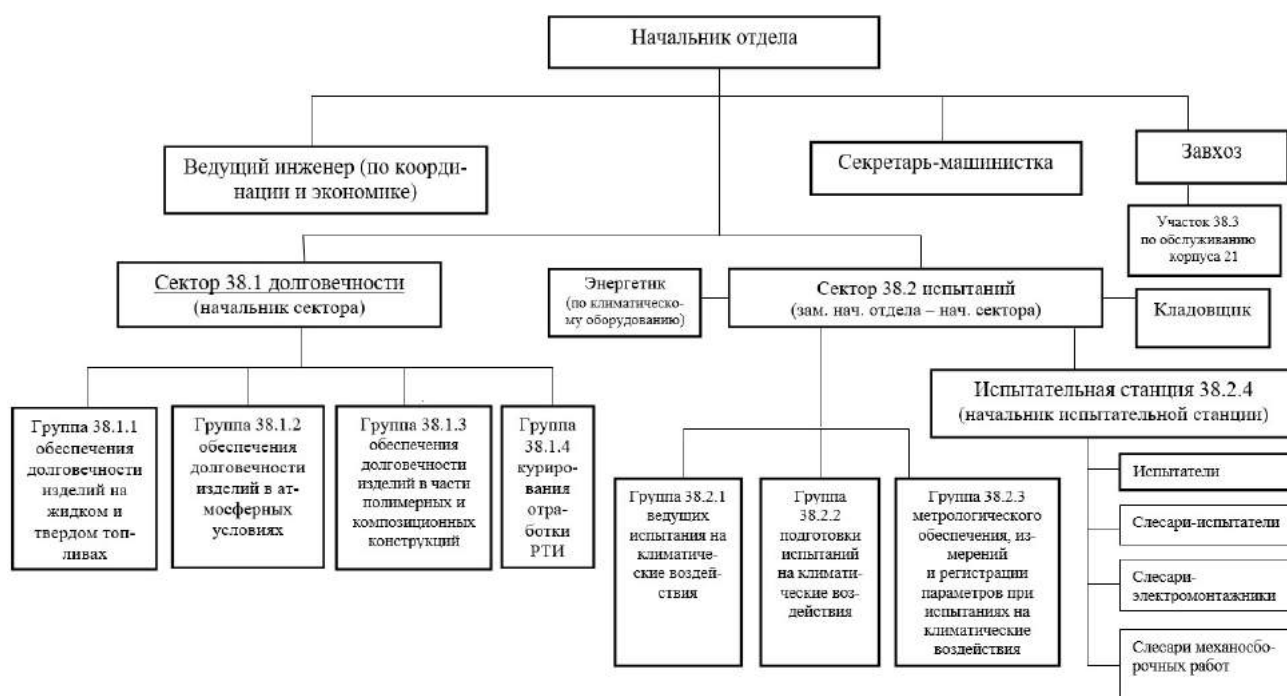


Рисунок 1.1. Структурная схема управления отделом №38

Привод разрабатывается в целях обеспечения проведения испытаний двух кабелей – петель, на проверку стойкости кабелей к механическим нагрузкам при минусовых температурах.

Привод устанавливается на металлоконструкции, указанной на рисунке 1.2.

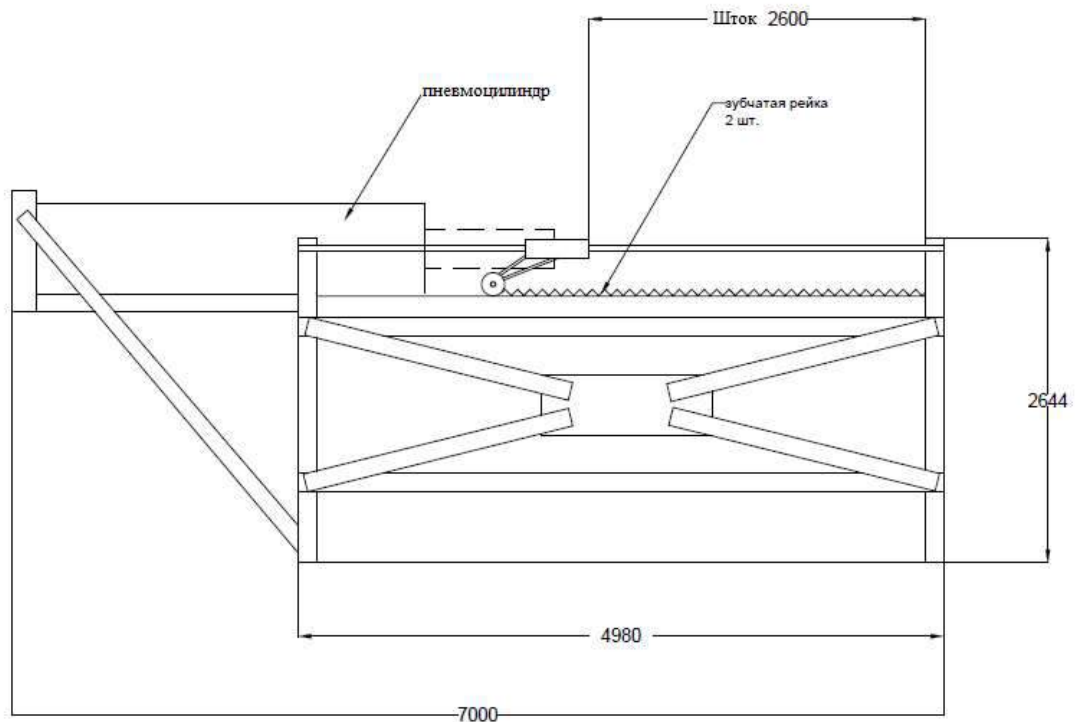


Рисунок 1.2. Схема пневмостенда

Работа механизма заключается в возвратно-поступательном движении штока пневмоцилиндра, который перемещает каретку с присоединёнными кабелями по двум зубчатым рейкам.

1.2 Характеристика проектируемого механизма

Установка состоит непосредственно из:

1. Компрессорная станция

Предназначена для снабжения системы сжатым воздухом (выбирается на рабочее давление 0,8...1 МПа)

2.осушитель

Воздушно – осушительная установка предназначена для выработки, осушения и хранения сухого воздуха давлением до 1 МПа, с температурой точки росы до минус 40 С.

3. Ресивер

Предназначен для сбора сжатого воздуха давлением до 1 Мпа, устранения пульсаций давления и подачи его в объект испытания

4. Пневмоплита

Для последующей установки, на которой распределителя и редукционного клапана

5. Программируемый контроллер

6. Пневмоцилиндр

7. Блочная схема системы представлена на рисунке 1.3.

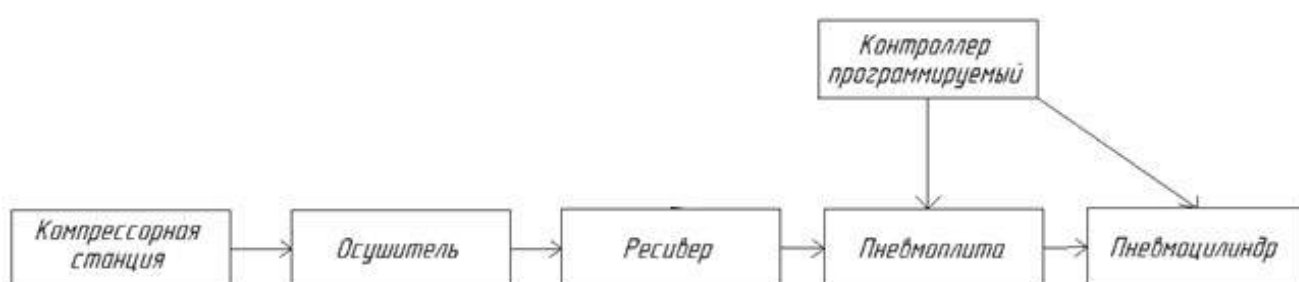


Рисунок 1.3. Блочная схема системы

Компрессорная станция (КС) предназначена для снабжения сжатым воздухом технологических процессов на предприятии, использующем различное пневматическое оборудование и инструмент. Компрессорная станция предназначена для эксплуатации в условиях окружающей среды при температуре окружающей среды от плюс 1°С до плюс 35°С и атмосферном давлении не ниже 0,087 МПа (650 мм. рт. ст.).

Воздух, поступающий в компрессор, должен соответствовать некоторым требованиям, а именно: не должен содержать капельной влаги, частиц угля, абразивной пыли, паров любого вида жидкостей, взрывоопасных и легковоспламеняющихся газов, распыленных растворителей и красителей, токсичных дымов любого типа, кислот, щелочей и других веществ, которые могут вызвать разрушение деталей КУ. Автоматическое управление работой компрессорной установки осуществляется без постоянного присутствия

обслуживающего персонала. На рисунке 1.4 рассматривается компрессорная станция ДЭН-22Ш Челябинского компрессорного завода. Также приведена пневмогидравлическая схема на рисунке 1.5.

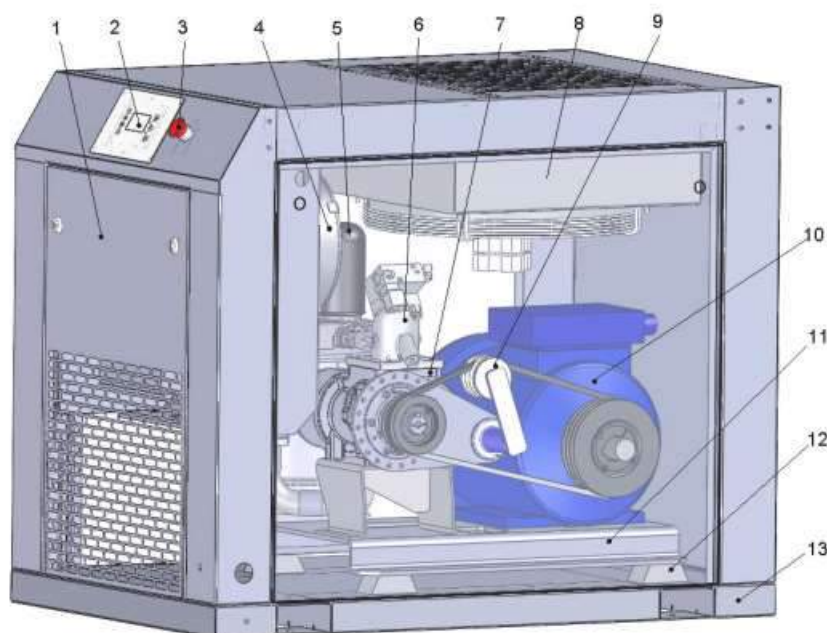


Рисунок 1.4. Составные части компрессорной станции ДЭН 22Ш:
 1 –панель электропитания; 2 - панель управления; 3 – кнопка «Аварийная остановка»; 4 – фильтр воздушный; 5 - фильтр масляный; 6 - клапан впускной; 7 – винтовой компрессорный модуль; 8 – блок охладителей; 9 – натяжитель ремней; 10 – электродвигатель; 11 – подрамник; 12 – подушка амортизационная; 13 – рама.

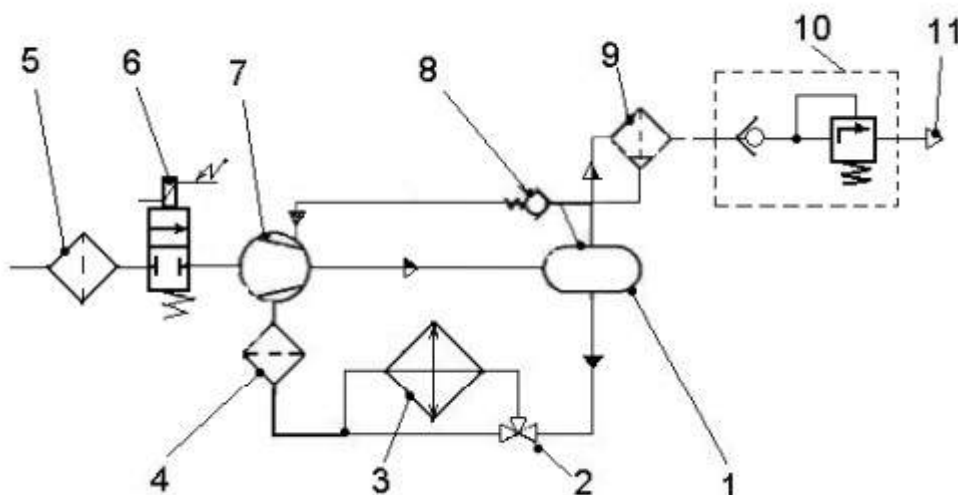


Рисунок 1.5. Схема пневмогидравлическая установки ДЭН-22Ш

На рисунке 1.4 изображены: 1 - маслоотделитель; 2 – клапан-термостат; 3 - охладитель масляный; 4 – фильтр масляный; 5 - фильтр воздушный; 6 – клапан впускной; 7 - компрессор; 8 – клапан обратный; 9 – сепаратор (фильтр-патрон); 10 - клапан минимального давления; 11 – выход сжатого воздуха.

Атмосферный воздух через фильтр (5) и клапан впускной (6) поступает в компрессор (7), для сжатия воздуха давлением до 1 МПа. Одновременно в рабочую полость компрессора через охладитель (3) и масляный фильтр (4) подается масло, необходимое для смазки роторов.,

Из компрессора масловоздушная смесь поступает в маслоотделитель (1) для первичной очистки от масла, где происходит отделение основной части масла из сжатого воздуха за счет вращательного движения смеси. Далее масловоздушная смесь направляется к сепаратору (9) для окончательной очистки воздуха от масла. Очищенный от масла сжатый воздух через клапан минимального давления (10) и раздаточный кран (11) поступает в охладитель (изделие).

Компрессорная станция (КС) вырабатывает сжатый воздух в автоматическом режиме по схеме: «работа - холостой ход - пауза (режим ожидания) - работа или остановка».

В компрессорной установке установлен датчик давления, который регулирует включение и отключение установки в пределах 0,8...1,0 Мпа

Основные технические характеристики приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1. Технические характеристики компрессорной станции

Наименование показателей	Значение показателей
Рабочее давление, МПа,	0,8...1
Предохранительный клапан, МПа	1,15
Температура масловоздушной смеси, при которой установка отключается, °С	110
Производительность, м ³ /мин	3,0
Температура воздуха, °С	70...100

Продолжение таблицы 1.1

Наименование показателей	Значение показателей
Напряжение питания, В/Гц	380/50
Номинальная мощность двигателя, кВт	22
Марка масла (компрессорное минеральное) типа	DANES 425
Температура масла, °С	70...100
Количество залитого масла, л	10

Воздушно-осушительная установка предназначена для выработки, осушения и хранения сухого воздуха давлением до 1 МПа, с температурой точки росы до минус 40°С.

В воздушно-осушительную установку входят:

1. компрессорная установка модели ДЭН-22Ш;
2. охладитель сжатого воздуха UFK-L 0125;
3. адсорбционный осушитель модели ALD 225;
4. ресивер РВ-900 (модели 58900.02-04).

Атмосферный воздух через воздушный фильтр поступает в компрессорную установку (КУ), в которой сжимается до давления 1 МПа. Сжатый воздух, смешанный с маслом, направляется в маслоотделитель и сепаратор, где происходит отделение масла из воздуха. Очищенный от масла воздух поступает в охладитель (ОХ) для охлаждения воздуха и автоматического удаления влаги при помощи конденсатоотводчика. Далее охлаждённый воздух по гибкому металлическому трубопроводу подаётся в адсорбционный осушитель (ОС), где происходит осушение воздуха от влаги. Осушенный воздух поступает в ресивер (Р), объёмом 900 литров.

Охладитель состоит из радиатора и вентилятора, выполненных в одном корпусе и установленного на металлических ножках.

Основные технические характеристики приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2. Технические характеристики охладителя

Наименование показателей	Значение показателей
Напряжение питания, В/Гц	220/50
Максимальная температура воздуха на входе, °С	До 120
Температура воздуха на выходе, °С	34 (max 66)
Рабочее давление, МПа	До 1,6

Осушительная установка ALD-0225 (далее осушитель) предназначена для осушения сжатого воздуха. Осушитель работает автоматически в режиме прерывистой эксплуатации. При выключении компрессорной установки осушитель автоматически заканчивает режим регенерации, используя сжатый сухой воздух из ресивера, и переходит в режим ожидания.

В состав установки входят: два адсорбера, фильтр грубой очистки, фильтр тонкой очистки, нижний и верхний переключающие клапаны, глушители, панель управления, трубопроводы.

Основные технические характеристики осушителя представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3. Технические характеристики осушителя

Наименование показателей	Значение показателей
Производительность м ³ /час	191,25
Рабочее давление воздуха, МПа (бар)	0,4 (4) ... 1,6 (16)
Температура воздуха	50 град.
Адсорбент	Ultrasorp 4
Напряжение питания, В	220
Точка росы осушенного воздуха под давлением, °С	Минус 40

Принцип действия осушителя воздуха основан на попеременной осушке воздуха и регенерации адсорбента в адсорберах. В адсорберах попеременно происходит: в одном адсорбере – осушение воздуха, а в другом – регенерация адсорбента. Этот способ обеспечивает непрерывную работу осушителя.

Принципиальная схема осушителя приведена на рисунке 1.6.

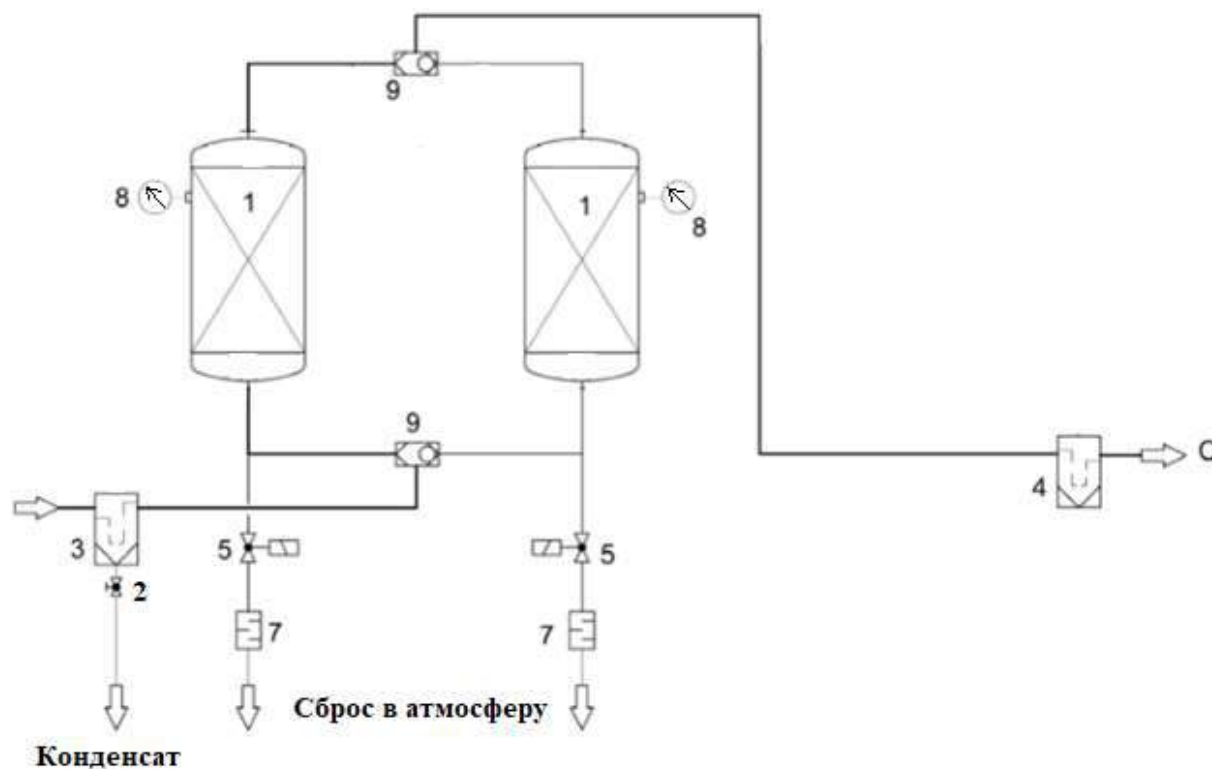


Рисунок 1.6. Принципиальная пневматическая схема осушителя. 1-адсорберы; 2-конденсатоотводчик; 3-фильтр грубой очистки; 4-фильтр тонкой очистки; 5-электромагнитный клапан; 7-глушители; 8-манометры; 9-нижний и верхний переключающие клапаны.

Ресивер - предназначен для сбора сжатого сухого воздуха давлением до 1 МПа, устранения пульсации давления и подачи его в объект испытания.

Основные технические характеристики представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4. Технические характеристики ресивера

Наименование показателей	Значение показателей
Рабочее давление воздуха, МПа,	1
Объём, л	900
Толщина стенки корпуса, мм	6

Продолжение таблицы 1.4.

Наименование показателей	Значение показателей
Толщина стенки днища, мм	8
Диаметр внутренний, мм	788
Высота, мм	1608
Расчётный срок службы, лет	10

На ресивере установлены: манометр, предохранительный клапан; датчик температуры точки росы воздуха, спускной кран, кран для подачи сжатого воздуха в сборку

Клапан предохранительный, предназначен для сброса сжатого воздуха при повышении внутреннего давления в ресивере более 1,0 МПа.

Манометр, предназначен для контроля давления в ресивере.

Спускной кран - для слива конденсата и сброса давления из ресивера.

Входной кран - для подачи воздуха в ресивер от компрессора.

Принципиальная пневматическая схема пневмоплиты и пневмоцилиндра представлена на рисунке 1.7.

Регулирование скорости перемещения штока пневмоцилиндра производится регулированием расхода через пропорциональный пневмораспределитель.

Распределитель переключается между положениями в момент поступления сигнала с контроллера.

Пневмоцилиндр обеспечивает движение испытываемых кабелей используя каретку, перемещаемую на стенде.

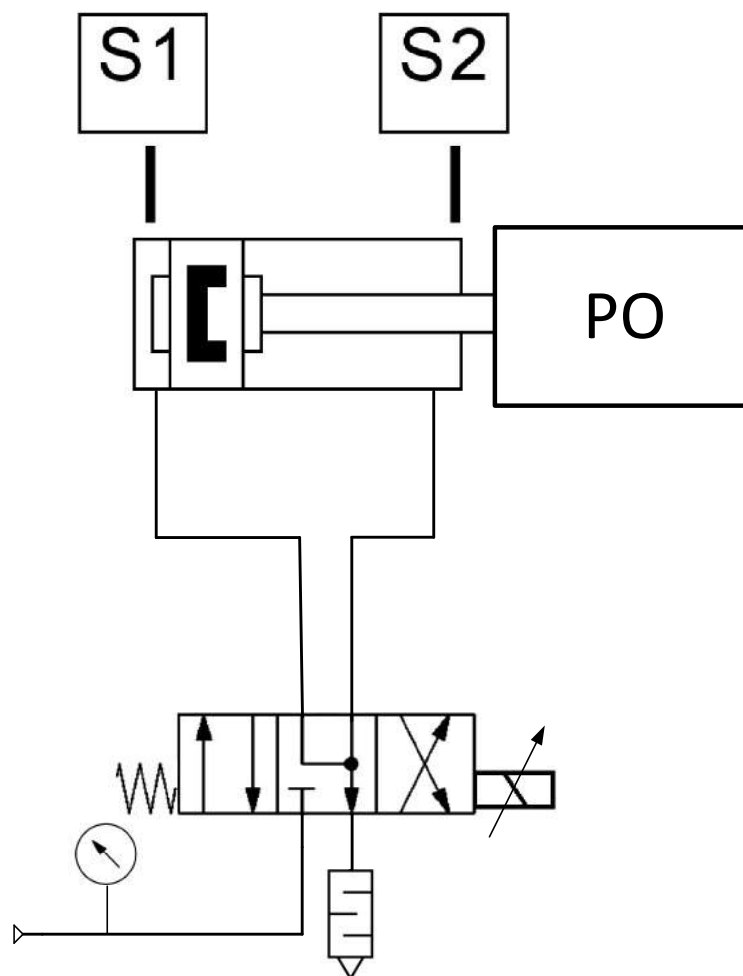


Рисунок 1.7. Принципиальная пневматическая схема пневмопривода

1.3 Требования к приводу

Привод должен обеспечивать движение испытываемых кабелей используя каретку, перемещаемую на стенде. Конструкция привода должна обеспечивать достаточный запас по мощности, позволяющий поддерживать скорость перемещения каретки испытательного стенда с весовой нагрузкой в виде кабельных петель при отрицательных температурах в камере. Средняя скорость каретки должна быть не менее 0,4 м/с.

Обеспечить позиционирование каретки в начальном и конечном положении с точностью 5 %.

Допускается доработка конструкции стенда и каретки при сохранении требований к линейным характеристикам скорости, расстояния перемещения каретки, местам крепления концов петель кабелей

Обеспечить разгон и торможение пневмоцилиндра за 0,4 с. Привод должен обеспечивать ход каретки без резких дергающих движений, вибраций и иных помех, вносящих дополнительную погрешность в проведение испытаний.

Устройство привода должно обеспечивать электробезопасность проведения полного цикла испытаний кабелей, петель, как при движении каретки, так и при остановке и проведения измерительных работ.

1.4 Расчёт и построение диаграммы перемещения

Произведём расчёт параметров пневмоцилиндра по расчётной схеме, представленной на рисунке 1.8.

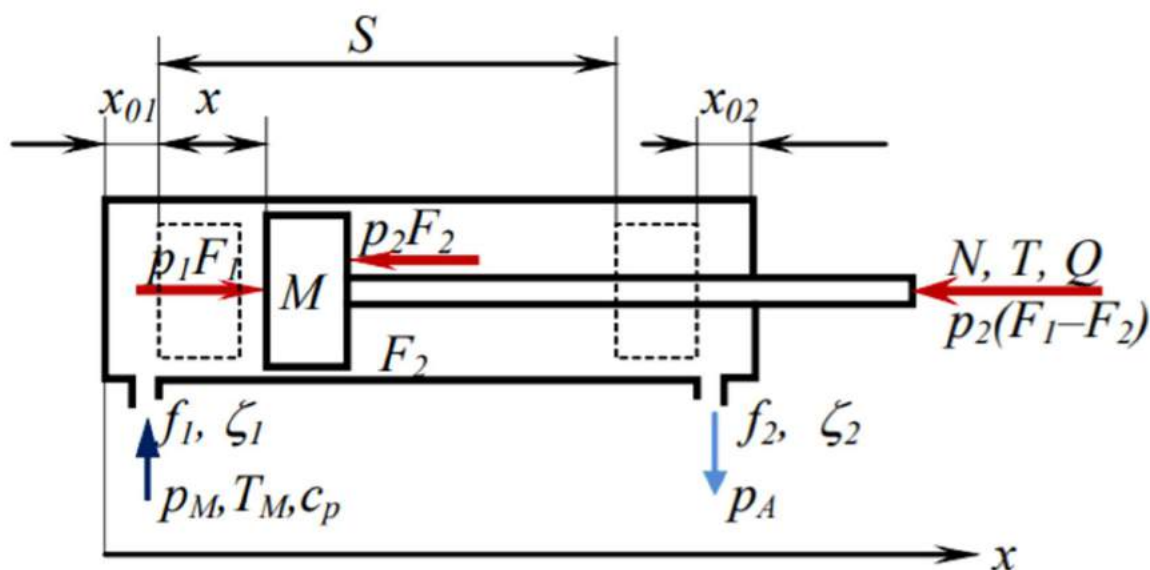


Рисунок 1.8. Расчетная схема пневмопривода

В общем случае уравнение движения пневмопривода с массой M подвижных частей определяется из уравнения Ньютона [1]:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = \sum_{i=1}^n R_i \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^n R_i$ - сумма сил, действующих на поршень со штоком.

Определим силы, действующие на поршень со штоком:

$R_1 = p_1 F_1$ - сила, действующая на поршень в поршневой полости;

$R_2 = p_2 F_2$ - сила, действующая на поршень в штоковой полости;

$R_3 = p_A (F_1 - F_2)$ - сила атмосферного давления, действующая на торцевую поверхность штока снаружи пневмоцилиндра;

$R_4 = N$ - постоянная нагрузка;

$R_5 = T_s$ - сила трения покоя;

$R_6 = T_D$ - сила сухого трения;

$R_7 = Q$ - сила вязкого трения;

Подставляя все значения сил в уравнение, получим следующее уравнение, описывающее движение поршня:

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = p_1 F_1 - p_2 F_2 - p_A (F_1 - F_2) - N - T_s - T_D - Q \quad (2)$$

Произведем расчет параметров пневмопривода.

Усилие, зависит от диаметра поршня и давления воздуха в его рабочих полостях и рассчитывается по формулам:

При прямом ходе:

$$F_{\text{пх}} = S_1 \cdot P_{\text{наг}} \quad (3)$$

При обратном ходе:

$$F_{\text{ох}} = S_2 \cdot P_{\text{наг}} \quad (4)$$

Найдём усилие сопротивления выдвигания штока:

$$F_{c1} = m \cdot g \cdot (1 + \mu) = 4802 \quad (5)$$

где $\mu = 0.4$ - коэффициент трения; $m = 350$ кг - масса подвижных частей.

Чтобы обеспечить плавное, контролируемое свободное передвижение, должен быть выбран цилиндр, который имеет теоретическое усилие на 25 - 50% больше, чем сила, требуемая системе. Эта рекомендация компенсирует внутреннее и внешнее трение и потери дифференциального давления между камерами, разделёнными поршнем. Это противодействие уменьшает рабочую силу и

варьируется в зависимости от скорости движения поршня. Значение теоретического усилия выбираемого цилиндра должно быть на 25% больше при высокой скорости, на 50% больше при низкой скорости и на 100% больше при наиболее низкой скорости позиционирования движения штока [2].

Поэтому примем усилие равным:

$$F_{\text{пх}} = 2 \cdot F_{\text{с1}} = 9604 \text{ Н} \quad (6)$$

Эффективная площадь поршневой полости S_1 , м^2 рассчитывается следующим образом [3][4]:

$$S_1 = \frac{F_{\text{пх}}}{P_{\text{наг}}} = 0,0106 \text{ м}^2, \quad (7)$$

где D – диаметр поршня.

Найдём диаметр поршня:

$$S_1 = \frac{\pi D^2}{4} \quad (8)$$

$$D = \sqrt{\frac{4S_1}{\pi}} = 0,116 \text{ м} \quad (9)$$

Исходя из стандартного ряда диаметров цилиндров по ГОСТ 15608-81, диаметр поршня равен $D=125$ мм, тогда диаметр штока $D=32$ мм.

Эффективная площадь штоковой полости S_2 , м^2 :

$$S_2 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = 0,011 \text{ м}^2 \quad (10)$$

где d – диаметр штока.

Давление в магистрали будет равно:

$$P_{\text{м}} = P_{\text{ат}} + P_{\text{наг}} = 0,1 + 0,8 = 0,9 \text{ МПа} \quad (11)$$

где $P_{\text{ат}}$ – атмосферное давление; $P_{\text{наг}}$ – давление нагнетания.

Определим расход воздуха, потребляемого пневмоцилиндром при прямом ходе:

$$Q = S_1 \cdot v = 0,0122 \cdot 0,4 = 0,00488 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (12)$$

где $v = 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ – скорость движения поршня.

Определим массу воздуха в поршневой полости:

$$m_{\text{п}} = S_1 \cdot \rho \cdot L = 0,228 \text{ кг} \quad (13)$$

Определим массу воздуха в штоковой полости:

$$m_{\text{п}} = S_2 \cdot \rho \cdot L = 0,205 \text{ кг} \quad (14)$$

Массовый расход потребляемый пневмоприводом G_M :

$$G_M = \frac{m_{\text{п}} + m_{\text{шт}}}{t_{\text{пр}} + t_{\text{обр}}} = 0,03 \quad (15)$$

Для приближенного выбора требуемой пропускной способности пневмораспределителя, управляющего работой пневмоцилиндра при постоянном коэффициенте нагрузки на штоке и минимальном сопротивлении потоку в трубопроводах и их соединениях, можно воспользоваться формулой [5]:

$$K_v = 127 \cdot F \cdot L \cdot P \cdot \frac{1}{t_s \cdot \sqrt{\Delta p \cdot (p - \Delta p)}} \quad (16)$$

$$K_v = 2 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 0,00055 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 0,55 \frac{\text{л}}{\text{с}}$$

где K_v - пропускная способность распределителя, $\text{м}^3/\text{час}$; S_1 - площадь поршня, м^2 ; L - ход поршня, м ; t_s — заданное время перемещения поршня, с ; p — абсолютное рабочее давление, МПа ; Δp - перепад давления на пневмораспределителе, МПа .

Для сбора сжатого воздуха давлением до 1 МПа , устранения пульсаций давления и подачи его в объект испытания необходимо найти объём ресивера, м^3 :

$$V_p = \frac{\alpha \cdot Q \cdot t}{(p_{\text{max}} - p_{\text{min}})} \cdot 10 = 0,9 \text{ м}^3 \quad (17)$$

где α — коэффициент запаса; Q — секундный расход сжатого воздуха пневмосистемы, $\text{м}^3/\text{с}$; t — время, необходимое для подкачки ресивера ($t = 20 \div 30 \text{ с}$); p_{max} — максимальное давление в ресивере, МПа ; p_{min} — минимальное давление в ресивере, МПа (обычно $p_{\text{max}} - p_{\text{min}} \sim 0,35$).

Расчётные диаграммы перемещений каретки, а также график зависимости усилия от времени перемещения представлены на рисунках 1.9 и 1.10 соответственно.

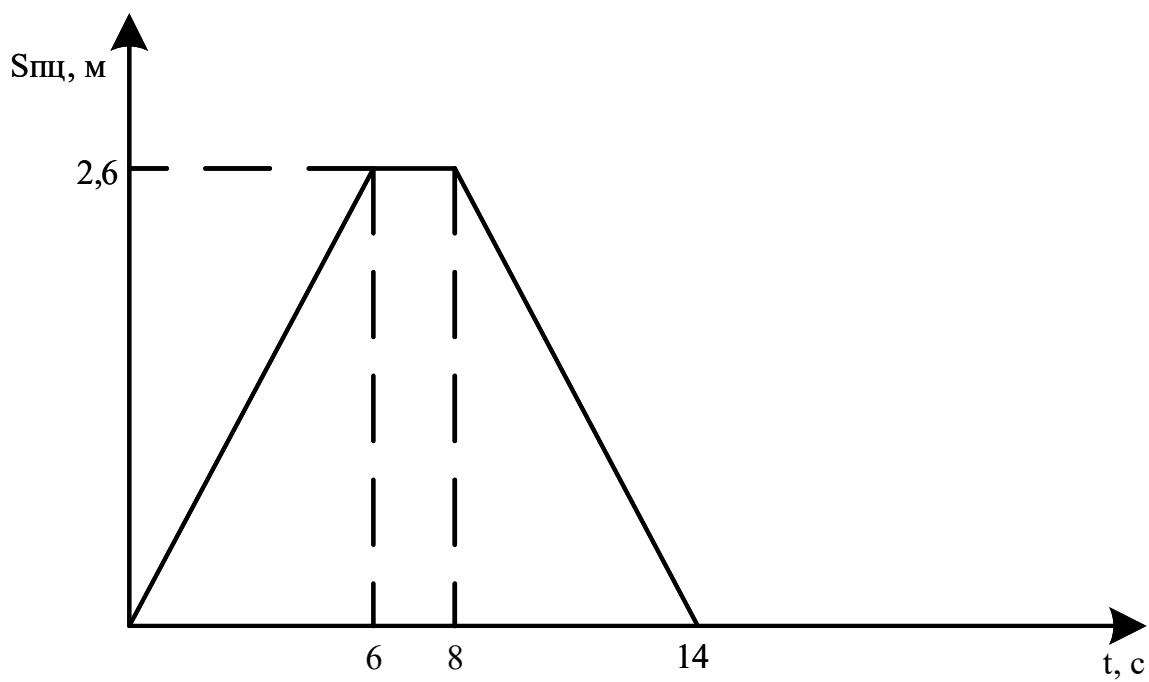


Рисунок 1.9. Расчётная диаграмма перемещений каретки

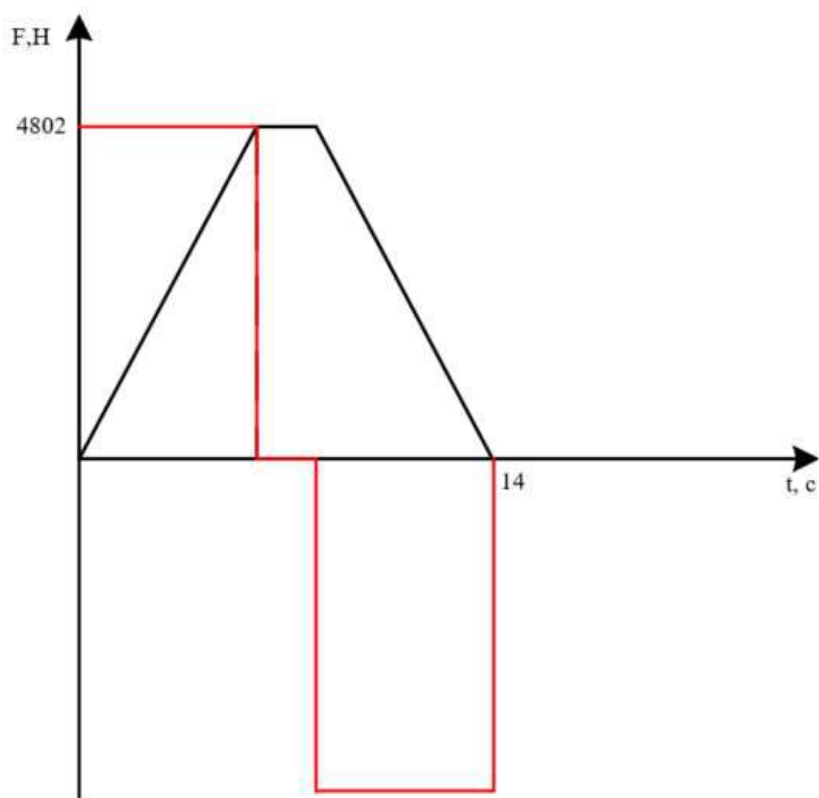


Рисунок 1.10. Расчётный график зависимости усилия от времени перемещения

1.5 Выбор основного оборудования пневмопривода

Исходя из расчётов, проведённых в пункте 1.4 выберем пневмоцилиндр 61M2Z125A2600 125x2600 Camozzi

Технические характеристики пневмоцилиндра представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5. Технические характеристики пневмоцилиндра

Ход	2600 мм
Диаметр поршня	32 мм
Серия	61
Монтажное положение	Любое
Рабочее давление	0,05 ... 12 бар
Действие	Двустороннего действия
Рабочая среда	Сжатый воздух по ISO 8573-1:2010
Температура окружающей среды	-50 ... +80

Распределитель необходим для управления движением штока пневмоцилиндра путем переключения пневмолиний. Основными техническими характеристиками при выборе распределителя являются: тип пневматического подключения (G1/2), количество входов/выходов и позиций распределителя (5/3), рабочее давление (8-10 бар). Пневматический распределитель должен быть с пилотным пропорциональным управлением и интегрированным электронным блоком управления. Рабочей средой пропорционального распределителя является сжатый воздух в соответствии с ISO8573-1:2010. Рабочая температура пропорционального распределителя должна находиться в пределах от 0 до +50 градусов Цельсия [6].

Выбран распределитель VPWP-4-L-5 компании FESTO (см. рис. 1.11). Основные характеристики представлены в таблице 1.6



Рисунок 1.11. Пневмораспределитель Festo VPWP-4-L-5

Таблица 1.6. Технические характеристики пневмораспределителя

Конструкция	Распределитель с цилиндрическим золотником
Количество входов/выходов, позиций	5/3
Тип управления	Пилотное пропорциональное
Тип монтажа	С помощью сквозных отверстий или на коллекторной плите
Управление	Электрическое
Положение монтажа	Любое
Рабочее давление	2,5 ... 10 бар
Окружающая температура	-10 ... +60

1.6 Защита привода

В качестве защиты привода используется предохранительный клапан RA 63610

Предохранительный клапан предназначен для защиты установки при повышении давления выше допустимого. Клапан устанавливается на

маслоотделителе. Клапан 63610 имеет пружинный механизм прямого действия и организованный дренаж. Клапаны изготовлены из коррозионностойких материалов. Так, корпус изготовлен из бронзы, седло изготовлено из латуни (желтая медь), пружина – из нержавеющей стали, материал уплотнения – ПТФЭ, силикон, витон, эластомер или нитрил. Принудительное открытие клапана производится ручным подъемным устройством.

Параметры клапана RA 63610 представлены в таблице 1.7.

Таблица 1.7. Технические характеристики предохранительного клапана

Рабочее давление	от 0,1 до 3,5 Мпа
Температурный режим	от -30 до +200
Проходное сечение	70,9 мм ²
Пропускная способность воздуха при давлении 1,15 Мпа	8,343 м ³ /мин
Расстояние между параллельными гранями	28 мм
Впускное соединение	3/4" BSP
Выпускное соединение	G 3/4"

Механизм приводится в работу за счет энергии сжатого воздуха. Для правильной работы устройства подготовка сжатого воздуха должна быть качественной. Во время сжатия воздуха твердые частички и капли влаги и воды концентрируются, образовывается абразивная суспензия. Агрессивная среда повреждает элементы конструкции, в результате происходит утечка сжатого воздуха, энергии тратится больше нормы.

Для очистки воздушного потока устанавливаются фильтры. Поток воздуха проходит через жесткий слой фильтрующего элемента, посторонние частички оседают на волокно при ударе с сетчатой поверхностью. Накапливаясь, частички соединяются с каплями масла и влаги, формируя пленку, она стекает в специальный резервуар.

2. РАЗРАБОТКА САУ

2.1 Разработка архитектуры систем автоматизации

Согласно техническому заданию на разработку пневматического привода мехатронной системы подвижной каретки станда для проведения испытаний на механическую стойкость кабелей АО “ГРЦ им. Макеева” для начала представим в общем виде архитектуру системы автоматизации на рисунке 2.1.

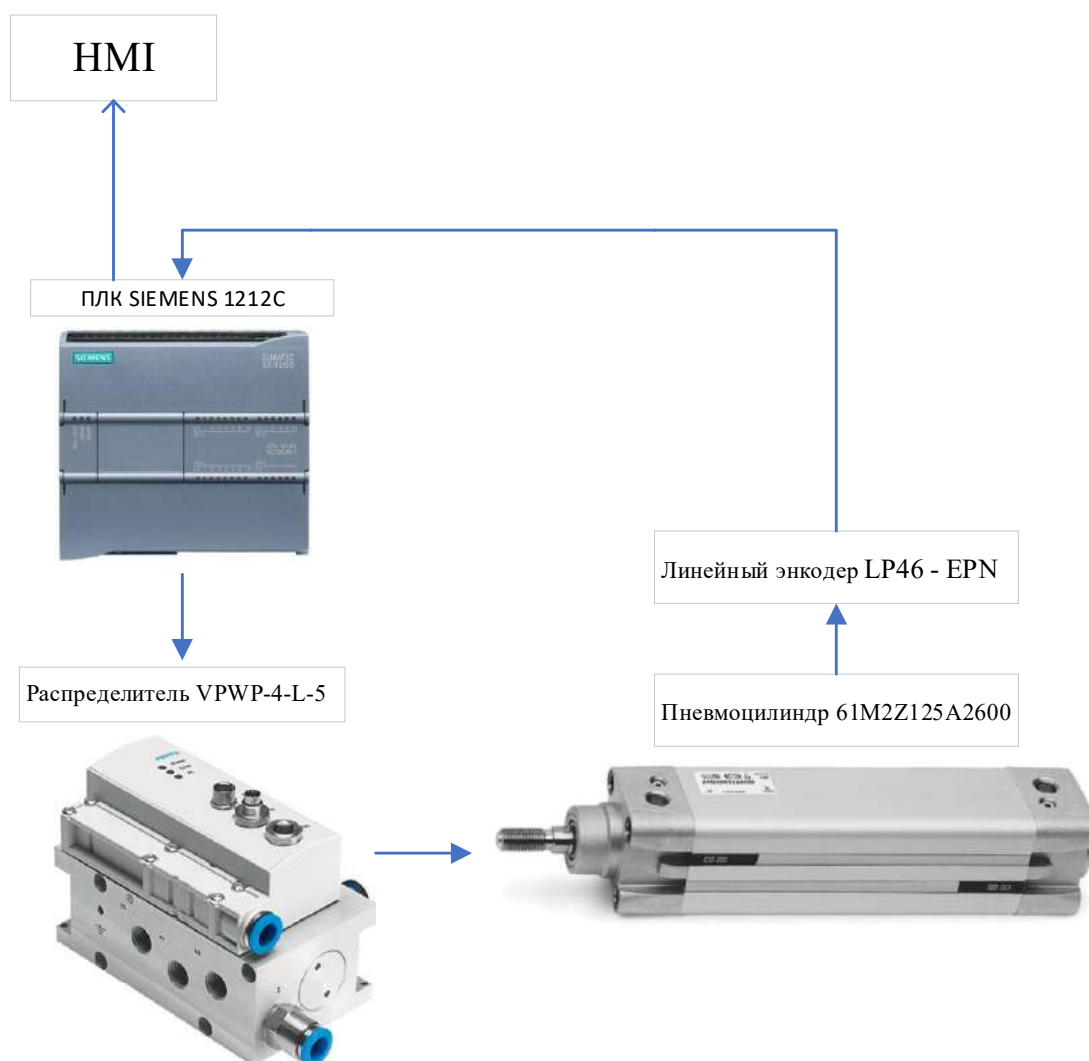


Рисунок 2.1. Структурная схема автоматизации

Исполнительным механизмом привода системы является пневмоцилиндр, управляемый пневматическим пропорциональным распределителем. Для контроля перемещения и скорости выдвигения/втягивания штока пневмоцилиндра

используется линейный энкодер, информация с которого по аналоговому сигналу передаётся к контроллеру. Датчик давления, сигнал с которого передаётся к контроллеру, служит для контроля давления в системе.

Логически программируемый контроллер выполняет функцию прямого автоматического управления работой оборудования. Исполнительные механизмы управляются определенными алгоритмами. Входными параметрами являются обработанные данные состояния технологических координат, считанные датчиками.

Информация с контроллера поступает на НМІ, в котором оператор отслеживает работу системы.

2.2 Выбор контроллеров и датчиков технологических координат

В качестве контроллера выбран – PLC S7-1212C. Данный контроллер решает логические задачи, задачи автоматического регулирования и управления перемещением, выполняет математическую обработку информации. Он обладает широкими функциональными возможностями, отличается относительно невысокой стоимостью и может использоваться во всех секторах промышленного производства, а также в системах автоматизации зданий. Компактное модульное исполнение в сочетании с высокой вычислительной мощностью позволяют использовать S7- 1200 для решения широкого круга задач автоматизации. Этот спектр задач простирается от замены простейших релейноконтактных схем до построения комплексных распределенных структур автоматизации, использующих интенсивный сетевой обмен данными. S7-1200 может использоваться в областях, где применение контроллеров ранее считалось экономически не выгодным и для решения задач автоматизации использовались специализированные электронные устройства. Контроллер ориентирован на построение систем автоматизации.

Все модули контроллера S7-1200:

1. Выпускаются в компактных пластиковых корпусах со степенью защиты IP20. Оснащены светодиодами индикации состояний, наличия ошибок в работе контроллера, а также запроса на обслуживание.
2. Обеспечивают удобный доступ к элементам управления и соединительным устройствам, закрытым защитными пластиковыми дверцами.
3. Имеют съемные соединительные терминальные блоки с контактами под винт для подключения внешних электрических цепей.
4. Монтируются на стандартную профильную шину DIN или на вертикальную плоскую поверхность.
5. Все центральные процессоры S7-1200 оснащены отсеком для установки одной сигнальной/ коммуникационной платы или модуля буферной батареи, отсеком для установки опциональной карты памяти SIMATIC Memory Card, встроенным интерфейсом PROFINET, а также интерфейсом подключения коммуникационных модулей.

Программируемый контроллер Siemens 1212C представлен на рисунке 2.2. его технические характеристики представлены в таблице 2.1.



Рисунок 2.2. Программируемый контроллер Siemens 1212C

Таблица 2.1. Технические характеристики контроллера

Центральный процессор	CPU 1212C
Встроенная загрузочная память, Мбайт	1
Расширение	Карта памяти SIMATIC Memory Card емкостью до 2 Гбайт
Встроенная рабочая память, кбайт	75
Энергонезависимая память, кбайт	10 (для сохранения данных при перебоях в питании контроллера)
Время выполнения логических операций, мкс	0,08
Время выполнения математических операций со словами, мкс	1,7
Время выполнения математических операций с плавающей запятой, мкс	2,3
ПИД-регулирование	Есть
Встроенные скоростные счетчики	6x100 кГц
Часы	Встроенные, аппаратные, запас хода 20 суток (1 год с дополнительной платой буферной батареи)
Интерфейс PROFINET	1xRJ45, 10/100 Мбит/с
Максимальная конфигурация	1xSB/CB/BB + 3xCM

Продолжение таблицы 2.1.

Максимальное количество каналов ввода/вывода	дискретных сигналов	DIxDO 44x42
	аналоговых сигналов	AIxAO 19x9
Полное адресное пространство ввода/вывода при использовании децентрализованной периферии		1000 байт на ввод и 1000 байт на вывод

В качестве датчиков положения пневмоцилиндра используется линейный энкодер LP46 - EPN. Подходит для применения в экстремальных условиях эксплуатации и окружающей среды. 48-миллиметровый корпус встраивается в имеющуюся конструкцию цилиндра. Его технические характеристики представлены в таблице 2.2. Линейный энкодер LP46-EPN Представлен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3. Линейный энкодер LP46-EPN

Таблица 2.2. Характеристики датчика LP46 - EPN

Диапазон измерения	от 50...3000 мм, стандартное разрешение 0,001 мм
Доступные интерфейсы	Profinet
Рабочая температура	-30...+75 С
Скорость передачи данных	100 мбит/с

Для управления пневмоприводом используется пневмораспределитель Festo VPWP-4-L-5. Распределитель со схемой работы 5/3 (другое название: пропорциональный пневмоклапан) предназначен для управления сервопневматическими приводами. Обратная полярность напряжения не приводит к выходу из строя. Технические характеристики представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Характеристики пневмораспределителя Festo VPWP-4-L-5

Конструкция	Распределитель с цилиндрическим золотником
Количество входов/выходов, позиций	5/3
Тип управления	Пилотное пропорциональное
Тип монтажа	С помощью сквозных отверстий или на коллекторной плите
Управление	Электрическое
Положение монтажа	Любое
Рабочее давление	2,5 ... 10 бар
Окружающая температура	-10 ... +60

В состав системы входят 2 датчика Холла, для определения положения штока гидроцилиндра серии CST – 562, которые разработаны для установки в канавках на корпусе цилиндра, со штекером M8 и без него.

Основные характеристики датчика представлены в таблице 2.4

Таблица 2.4. Технические характеристики датчика CST – 562

Серия CST	
Принцип действия	Эффект Холла
Тип входа	Транзистор PNP
Тип контакта	Нормально открытый и нормально закрытый
Напряжение	10-27 v dc
Максимальный ток	100 ma
Максимальная нагрузка	6 w dc
Класс защиты	Ip 67
Материалы	Корпус - пластик, залитый эпоксидной смолой
	Кабель - PVC
	Разъём - PVR
	Корпус разъёма - полиуретан
Крепление	Непосредственно в канавку или с помощью адаптеров
Индикация	Жёлтый светодиод
Защита	От изменения полярности и перенапряжения
Время включения	< 1 мс
Рабочая температура	-50 до +80 С
Число срабатываний	1000000000 циклов

2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САР привода пневматического стенда.

Механическая часть представлена пневматическим распределителем и пневмоцилиндром, который перемещает каретку.

Компрессорная станция создает давление в пневмосистеме. Положение золотника задаётся с помощью электромагнитных элементов. Шток

пневмоцилиндра начинает двигаться с определенным усилием и скоростью. Сигналы о его положении передаются на управляющее устройство, которое формирует алгоритм его работы и посылает управляющие сигналы на пневмораспределитель.

Функциональная схема привода представлена на рисунке 2.4.

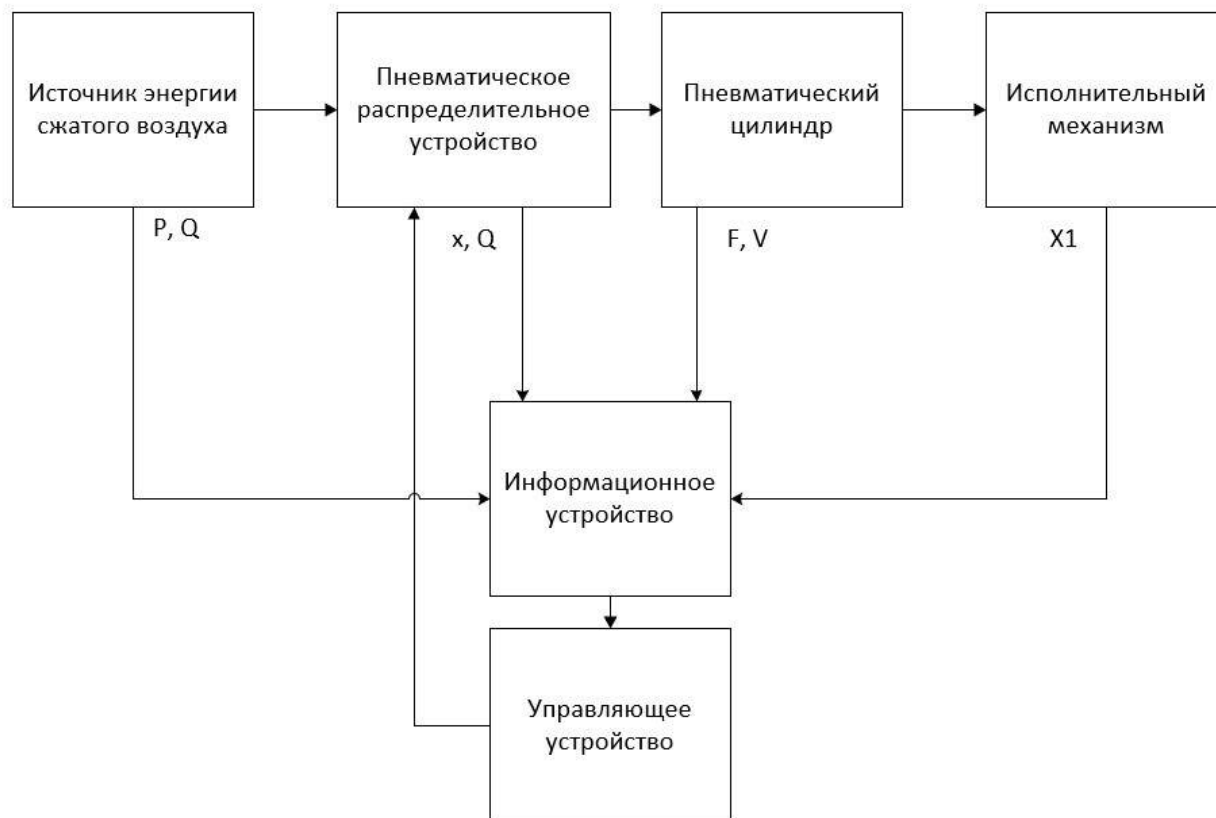


Рисунок 2.4. Функциональная схема привода в общем виде;

P – давление [Па]; Q – объемный расход [м³/с]; F – усилие [Н]; V – скорость [м/с], x – перемещение золотника пневмораспределителя [м], $X1$ – перемещение каретки [м]

На рисунке 2.5 представлены: БО – блок ограничения, РП – регулятор положения, ЗИ – задатчик интенсивности, ДП – датчик положения, РО – регулируемый объект, СУ – система управления.

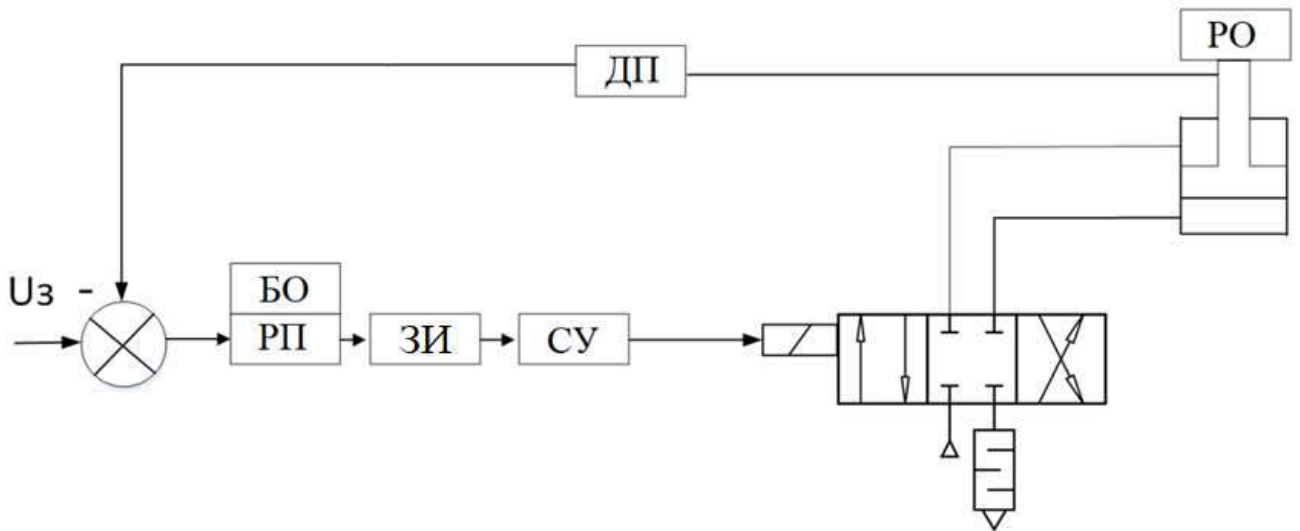


Рисунок 2.5. Детальная функциональная схема пневмопривода

Для разработки САР необходимо детально рассмотреть работу каждого звена в системе.

2.4 Разработка контура регулирования технологических координат

При использовании гидро- и пневмосистем в целях управления различными машинами, аппаратами или стенками возникает необходимость в поддержании, а также в изменении в определенных пределах давлений и расходов рабочих сред. Выполнение этих задач называется регулированием гидро- пневмосистем. Применяются гидросистемы с дроссельным, струйным, объёмным и объёмно-дроссельным регулированием. В пневмосистемах могут иметь место только первые два вида регулирования [6].

Дроссельное регулирование основано на изменении проходного сечения подводящих пневмолиний. Этим регулируется расход рабочей среды, а при необходимости меняется направление потоков. Для выполнения таких операций используются: золотниковые распределители различных конструкций, клапаны, и другие аппараты подобного принципа. Для иллюстрации этого способа регулирования на рисунке 2.6 дана в условных обозначениях схема простой пневмосистемы [7].

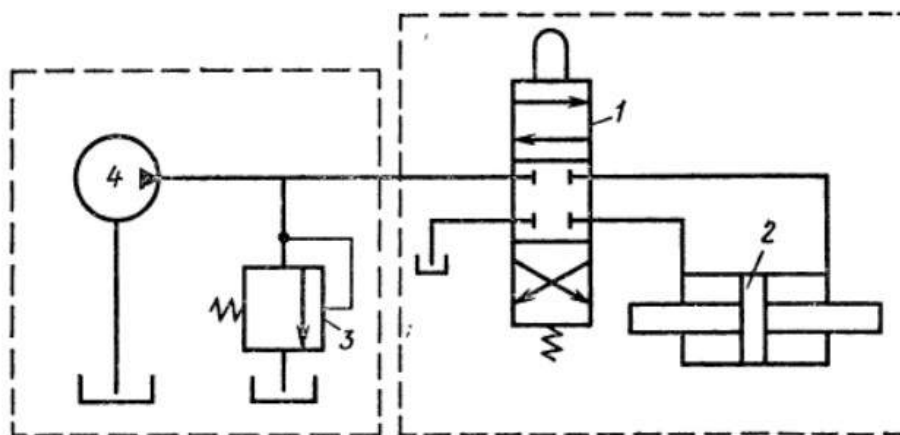


Рисунок 2.6. Схема пневмосистемы с дроссельным регулированием

Цепь управления здесь сведена к одному устройству в виде четырёх-дроссельного золотникового распределителя (1), исполнительным устройством является пневмоцилиндр (2). Переливной клапан (3) и насос (4) относятся к элементам источника питания.

Рассматриваемый распределитель трёхпозиционный, из этого следует, что при сигнале задания равном 0 золотник принимает положение, когда в напорной и сливной линии отсутствует расход сжатого газа. При сигнале задания, отличного от 0 золотник перемещается, создавая дросселирующие отверстия, величина которых также зависят от величины сигнала задания. При подаче давления в одну из полостей поршень пневмоцилиндра перемещается, преодолевая усилие сопротивления движения штока (массу каретки с присоединенными кабелями). При малых смещениях золотника площадь открываемых во втулке окон оказывается значительно меньше сечения подводящих и отводящих каналов. Вследствие этого пневматическое сопротивление золотникового распределителя оказывается большим, и он пропускает малый расход жидкости. С увеличением смещения золотника его пневматическое сопротивление уменьшается и при том же перепаде давления увеличивается расход сжатого газа [1].

В любом случае, математическое описание распределителя сводится к поиску зависимости между положением золотника и величиной расхода.

Необходимо рассмотреть систему управления перемещением золотника пневмораспределителя. Пневмораспределители различаются в зависимости от способа управления: с ручным переключением, пневматически и электрически. Существуют комбинированное управление положением золотника в пневмораспределителе. Далее будет представлен пневмораспределитель с электромагнитной системой управления (рис. 2.7). Рассматриваемый распределитель относится к пропорциональным, поскольку координата положения золотника напрямую зависит от величины сигнала задания.

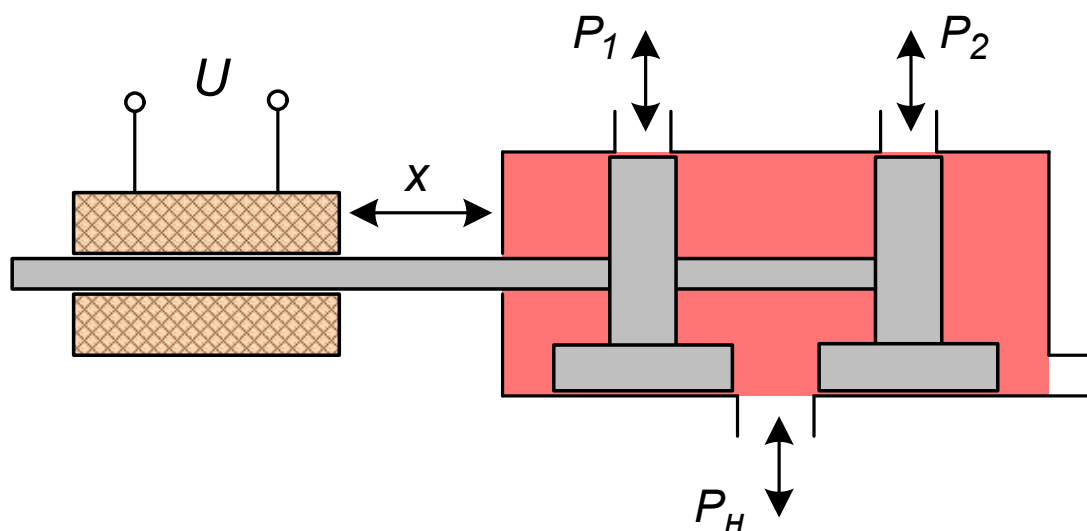


Рисунок 2.7. Пневмораспределитель с электромагнитным управлением

Золотник распределителя перемещается посредством электромагнитной системы, величина перемещения которого x зависит от напряжения U [8].

$$x=f(U) \quad (18)$$

В таком случае, справедливо выражение:

$$T_y \cdot \frac{dQ}{dt} + Q = k_y \cdot u_y - k_{\Pi} \cdot P, \quad (19)$$

где T_y – коэффициент, связывающий напряжение и перемещение магнитной системы, k_y – расходный коэффициент распределителя, u_y – напряжение управления (напряжение на входе усилителя задающего управляющий ток в электромагнитную катушку распределителя), k_{Π} – коэффициент жесткости перепадно-расходных

характеристик распределителя при давлении в поршневой полости, принятом за начальное [6].

Структурная схема пневмораспределителя, составленная в соответствии с полученным выражением приведена на рисунке 2.8 [9].

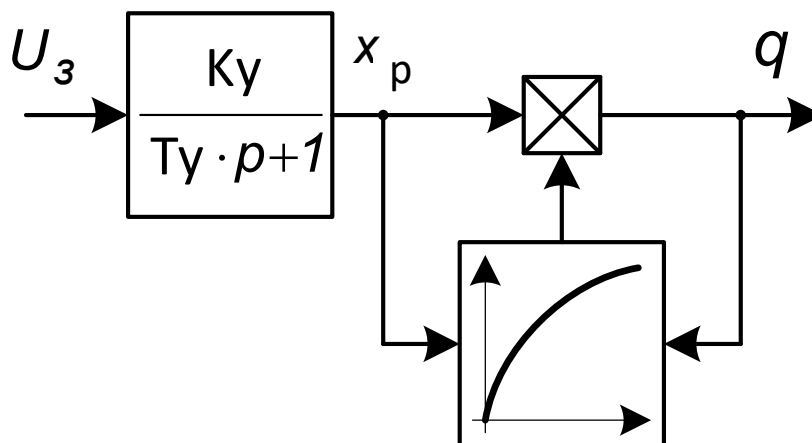


Рисунок 2.8. Структурная схема распределителя

Определим передаточную функцию пневмоцилиндра.

Перемещение штока ГЦ создается за счет подачи давления в одну из его полостей. Причём расход сжатого газа описывается при помощи линеаризованного дифференциального уравнения:

$$q = q_0 + \Delta q, \quad (20)$$

где q_0 – расход, вызванный перемещением поршня ГЦ, $\text{м}^3/\text{с}$, Δq – расход, созданный перепадом давления в полости ГЦ, $\text{м}^3/\text{с}$

$$q_0 = S_{\Pi} \cdot V_{\text{шц}}, \quad (21)$$

$$\Delta q = S_{\Pi} \cdot \frac{dS_{\text{шц}}}{dt} + \frac{V}{E} \cdot \frac{dP_{\Pi}}{dt} + r \cdot P_{\Pi}, \quad (22)$$

где S_{Π} – эффективная площадь поршня, м^2 ; V – объем поршневой полости при начальном положении, м^3 , E – объемный модуль упругости рабочего газа, Па, P_{Π} – давление в поршневой полости, Па, r – коэффициент утечек.

Зная, что P_{Π} есть отношение силы к площади:

$$P_{\Pi} = \frac{F_{\text{шц}}}{S_{\Pi}} \quad (23)$$

Величину расхода Δq из уравнения (22) можно привести к следующему виду:

$$\Delta q = \frac{F_{\text{пц}}}{\frac{S_{\text{п}}}{r}} \cdot \left(\frac{V}{E \cdot r} \cdot p + 1 \right), \quad (24)$$

где $F_{\text{пц}}$ – усилие, создаваемое поршнем, Н.

Тогда передаточная функция механической части ГЦ можно записать в виде:

$$W_{\text{пц}} = \frac{F_{\text{пц}}}{\Delta q} = \frac{F_{\text{пц}} \cdot S_{\text{п}} / (r + k_{\text{п}})}{\frac{V}{E \cdot (r + k_{\text{п}})} \cdot p \cdot F_{\text{пц}} + F_{\text{пц}}} = \frac{S_{\text{п}} / (r + k_{\text{п}})}{\frac{V}{E \cdot (r + k_{\text{п}})} \cdot p + 1}, \quad (25)$$

где $k_{\text{п}}$ – коэффициент жесткости перепадно-расходных характеристик распределителя при давлении в поршневой полости, принятом за начальное.

Уравнение движения для пневмоцилиндра, перемещающего массу m_{Σ} может быть записано в виде [10]:

$$F_{\text{пц}} - F_{\text{с}} = m_{\Sigma} \cdot \frac{dV_{\text{пц}}}{dt} = m_{\Sigma} \cdot V_{\text{пц}} \cdot p \quad (26)$$

Таким образом, структурная схема пневмоцилиндра, как объекта управления может быть представлена в виде, показанном на рисунке 2.9.

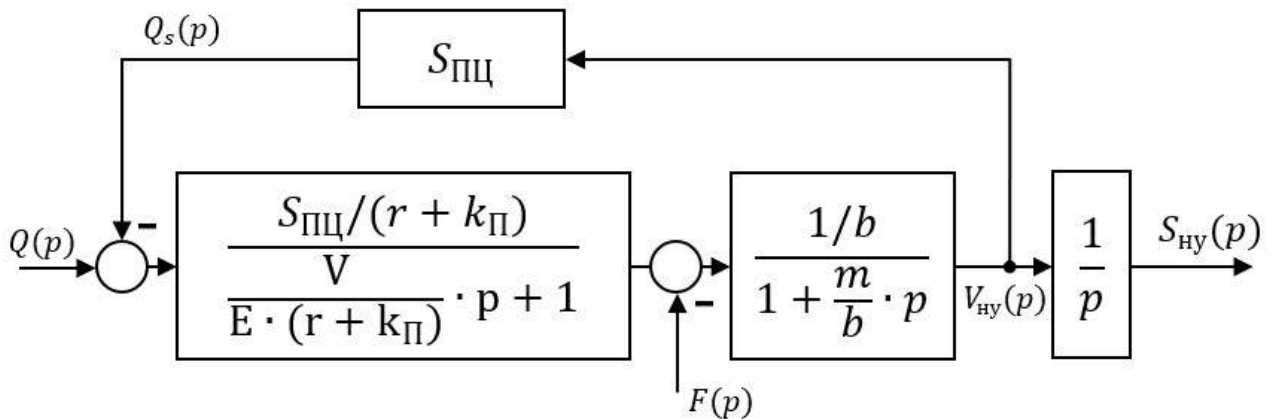


Рисунок 2.9. Структурная схема пневмоцилиндра

Общий вид системы регулирования представлен на рисунке 2.10.

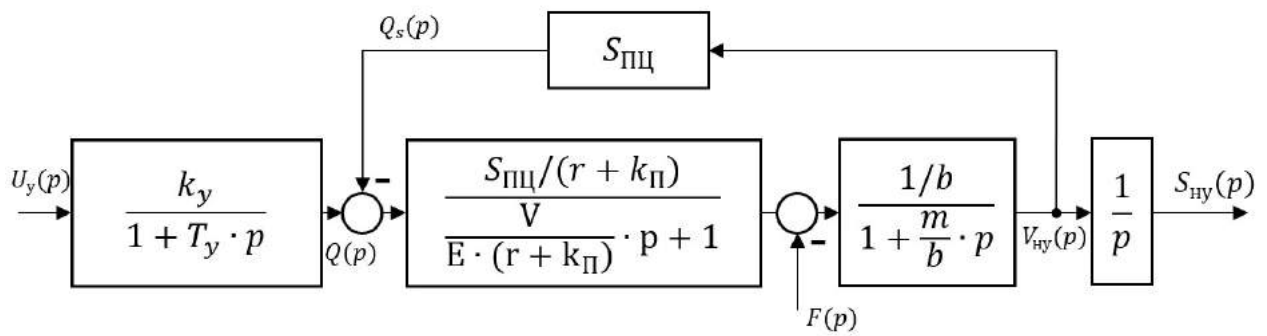


Рисунок 2.10. Структурная схема системы регулирования скорости пневмоцилиндра

Пневмоцилиндр имеет разные площади: эффективная площадь поршня, эффективная площадь штоковой полости. На рисунке 2.10 рассматривается схема с передаточной функцией, которая учитывает только выдвижение штока пневмоцилиндра. Известно, что при одинаковом расходе при подаче в штоковую и поршневую полость скорость движения, в зависимости от направления, будет разной. Учитывая это, будет использоваться две передаточные функции пневмоцилиндра. В зависимости от знака сигнала управления (направления перемещения), блок переключения делает активной одну из двух передаточных функций пневмоцилиндра, которые отличаются между собой коэффициентами. Для учитывания потери расхода при перемещении пневмоцилиндра, в блоке обратной связи также будет осуществляться переключение. На рисунке 2.10 показана структурная схема пневмопривода с учетом блоков переключения.

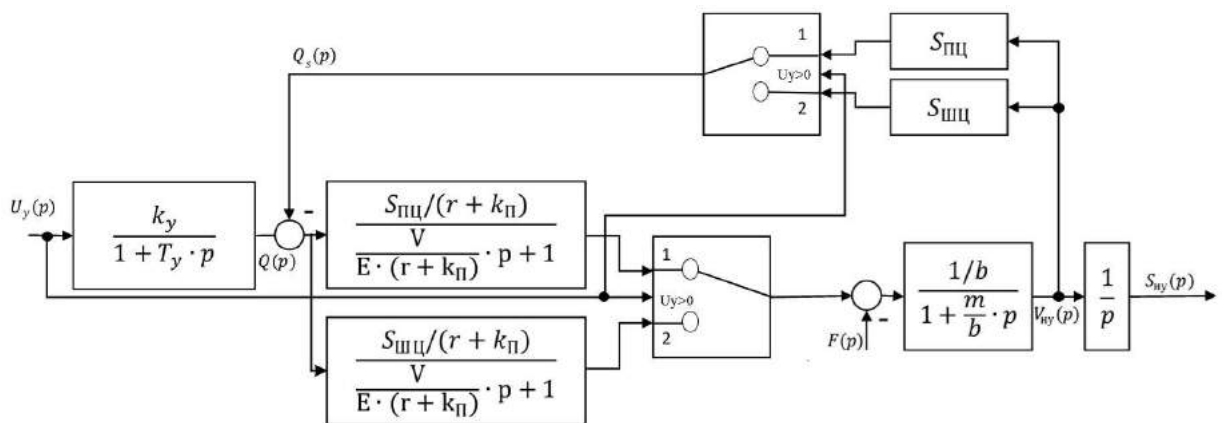


Рисунок 2.11. Структурная схема пневмопривода с учетом блоков переключения

Составим итоговую схему работы пневмопривода. Из характеристик распределителя найдём значение постоянной времени, которое принято равным:

$$T_{\mu}=0,005 \text{ с}$$

Коэффициент обратной связи по положению K_{OP} рассчитывается по формуле:

$$K_{OP}=\frac{U_3}{L}=\frac{10}{2,6}=3,84, \quad (27)$$

где L – максимальный ход штока пневмоцилиндра.

Коэффициент регулятора положения K_{RP} рассчитывается по формуле:

$$K_{RP}=\frac{1}{6 \cdot T_y \cdot K_{OP} \cdot K_3}, \quad (28)$$

где K_{OP} – коэффициент обратной связи по положению; T_y – постоянная времени распределителя;

Причём, коэффициенты передаточных функций вычисляются по формулам:

$$K_3=\frac{K_1 \cdot K_2}{K_1 \cdot K_2 \cdot S_{ПЦ}}=81,96 \quad (29)$$

$$K_1=\frac{S_{П}}{r+k_{П}}=4977560179 \quad (30)$$

$$K_2=\frac{1}{b}=0,003 \quad (31)$$

Тогда по формуле 14:

$$K_{PC}=\frac{1}{6 \cdot T_y \cdot K_{OP} \cdot K_3}=90 \quad (32)$$

2.5 Разработка структурной схемы САУ и моделирование типовых режимов работы привода.

Структурная схема пневмопривода включает в себя структурные схемы пневматического распределителя и пневматического цилиндра. Итоговый вид структурной схемы пневмопривода представлен на рисунке 2.12.

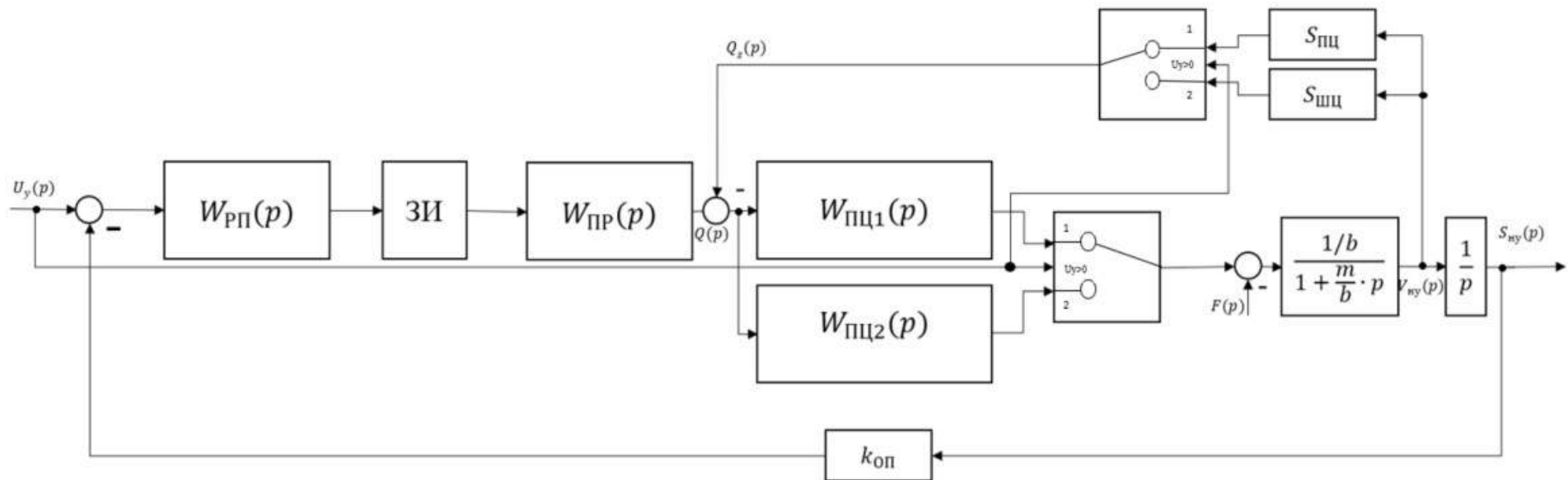


Рисунок 2.12. Итоговый вид структурной схемы пневмопривода

На рисунке 2.11:

$W_{пц}$ – передаточная функция пневмоцилиндра;

F – усилие сопротивления прикладываемое к пневмоцилиндру;

$W_{рп}$ – передаточная функция регулятора положения;

$K_{оп}$ – коэффициент обратной связи по положению;

$W_{пр}$ – передаточная функция пневмораспределителя;

ЗИ – задатчик интенсивности сигнала задания;

$v_{ну}$ – скорость перемещения штока пневмоцилиндра.

В качестве регулятора положения принимается П регулятор. На вход системы приходит сигнал задания с контроллера $U_{зп}$. На выходе системы получаем величину перемещения пневмоцилиндра.

В контур регулирования положения входят: регулятор положения (РП), коэффициент, которого был определён, задатчик интенсивности скорости (ЗИ), объект регулирования и обратная связь по положению. Поскольку производится настройка на технический оптимум, используется пропорциональный регулятор положения, передаточная функция которого определена в математической модели пневмопривода.

Сигнал управления приходит с контроллера на пропорциональный пневмораспределитель. Выходной характеристикой являются расход через пропорциональный пневмораспределитель, усилие, развиваемое пневмоцилиндром, и перемещение пневмоцилиндра. Для моделирования обратного движения пневмоцилиндра используется аналогичная структурная схема с измененным коэффициентом в передаточной функции пневмоцилиндра. Данная схема реализована на рисунке 2.13.

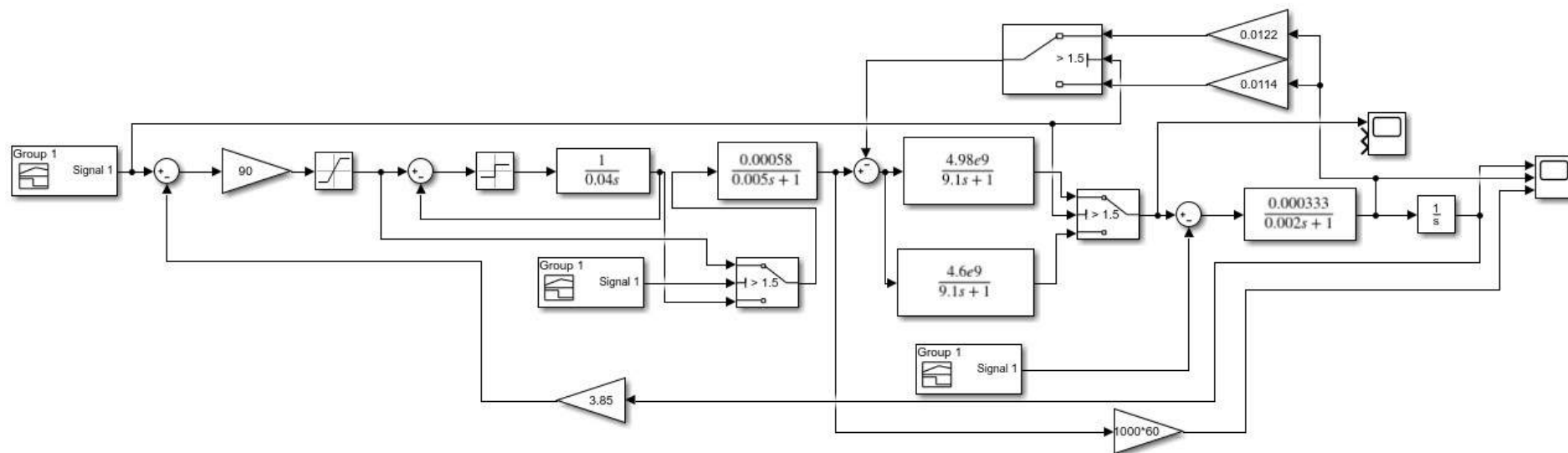


Рисунок 2.13. Математическая модель пневмопривода, учитывающая прямой и обратный ход

Результаты математического моделирования представлены в виде графиков перемещения штока пневмоцилиндра (см. рис. 2.14), скорости перемещения штока (см. рис. 2.15), расхода сжатого воздуха в системе (см. рис. 2.16).

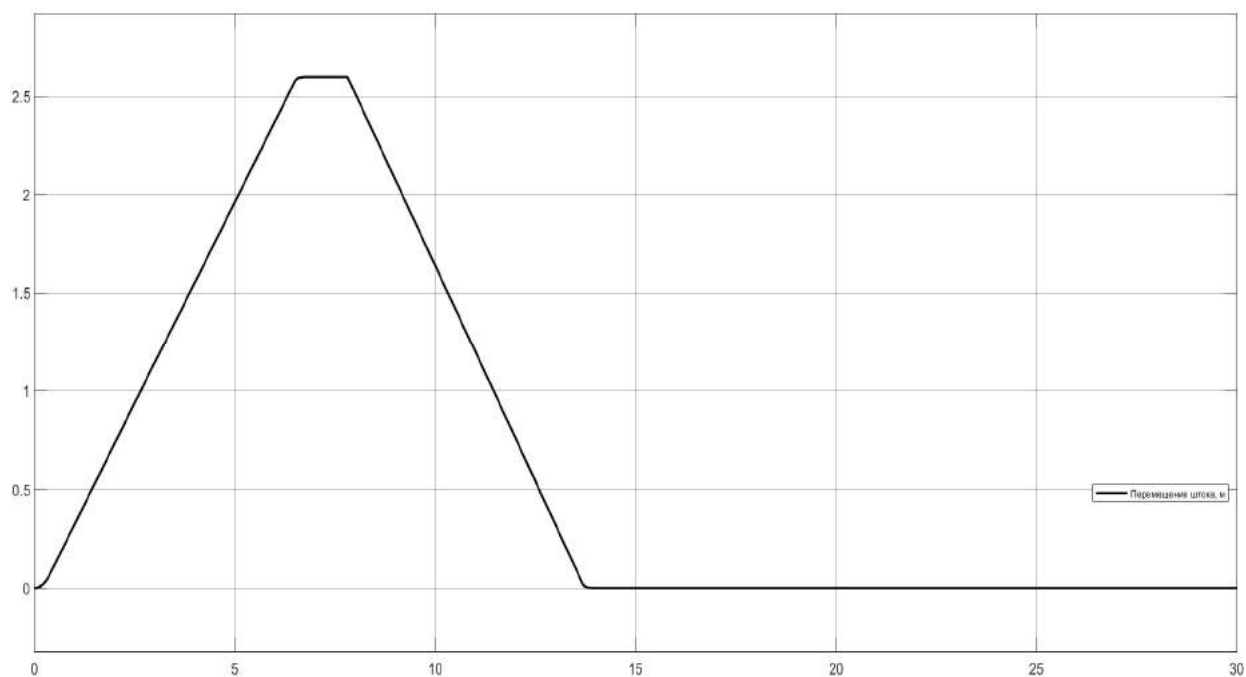


Рисунок 2.14. Результаты математического моделирования: перемещение пневмоцилиндра

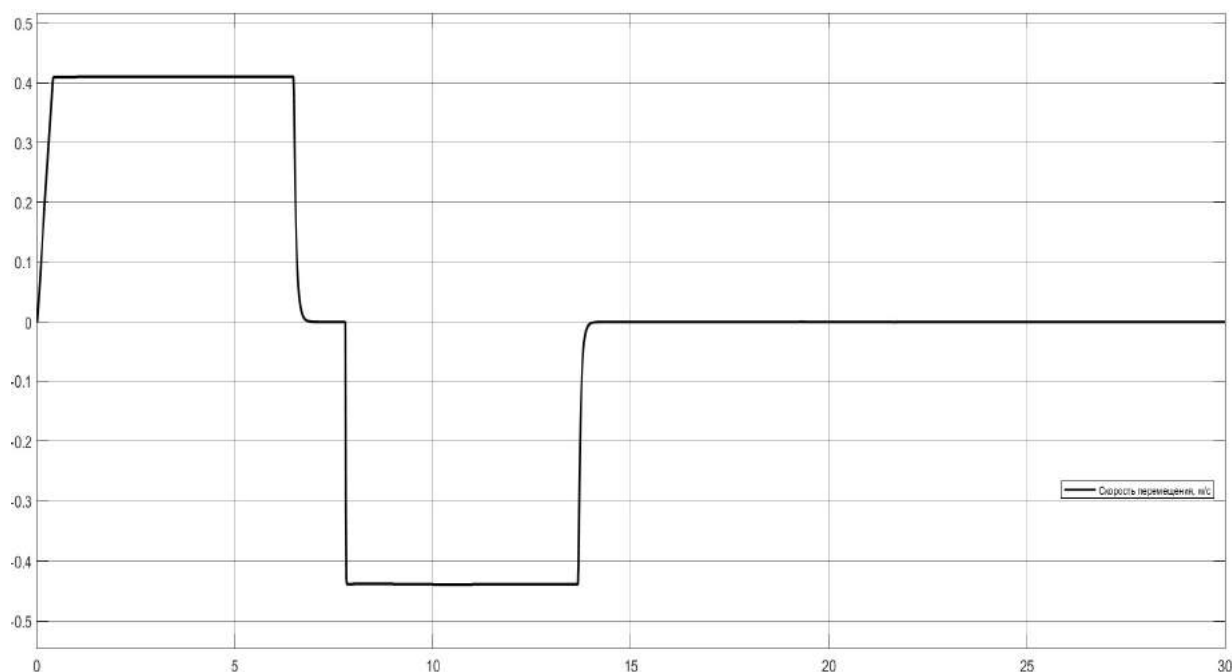


Рисунок 2.15. Результаты математического моделирования: скорость перемещения

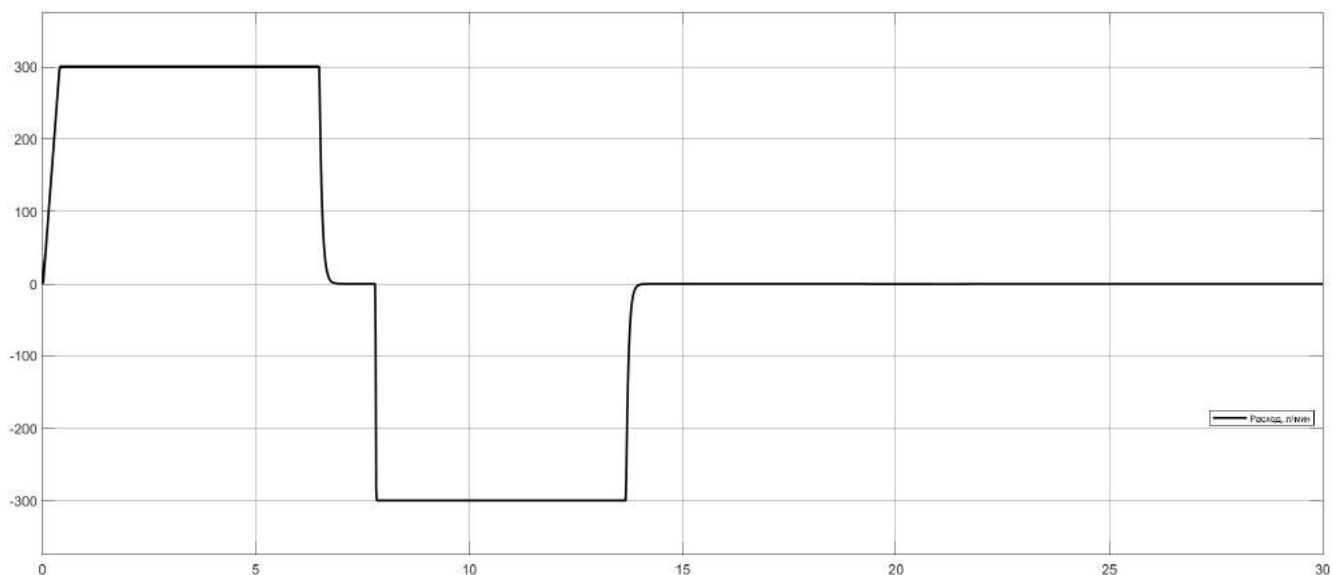


Рисунок 2.16. Результаты математического моделирования: расход сжатого воздуха

В результате моделирования все значения технологических координат, требования к пневмоприводу и системе автоматизации, которые были установлены, достигли необходимых значений. Также разработана архитектура системы автоматизации, выбран контроллер и датчики технологических координат. Была рассмотрена функциональная схема САУ, а также, реализована структурная схема САУ. В дальнейшем рассмотрена математическая модель, реализованная в среде Simulink пакета MATLAB.

3. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ

3.1 Краткая характеристика предприятия и ассортимента выпускаемой продукции

Головную роль отдел № 38 осуществляет путём принятия технических решений в обеспечении долговечности, организации исследовательских и экспериментальных работ по вопросам отработки и подтверждения долговечности.

Основными задачами отдела являются:

1. Обеспечение выполнения предъявляемых ТЗ требований по долговечности разрабатываемых изделий в заданных климатических условиях хранения и эксплуатации:
2. Методическое обеспечение работ по продлению сроков службы серийных изделий.
3. Исследовательские работы по совершенствованию существующих изделий и по созданию научно-экспериментального задела для перспективных изделий (в части долговечности)
4. Проведение климатических испытаний по заказам смежных организаций.
5. Изучение коррозионной агрессивности среды в отсеках изделия и при хранении и эксплуатации. Установление содержания допустимых коррозионно-неопасных примесей в атмосфере, окружающей изделие и его отдельные системы.
6. Определение объёма экспериментальной отработки долговечности изделий, разработка методов экспериментальной отработки.
7. Анализ результатов испытаний и выдача рекомендаций по доработке изделий, разработка организационных документов по реализации рекомендаций.
8. Разработка технологических процессов на проведение ускоренных климатических и коррозионных испытаний на испытательной базе отдела.
9. Отработка долговечности резинотехнических деталей в спецсредах.
10. Проведение испытаний на ускоренное тепловое старение, имитирующее

длительные сроки эксплуатации и хранение.

11. Изучение и обобщение опыта эксплуатации ранее разработанных серийных изделий (в части долговечности).
12. Разработка раздела пояснительной записки по обоснованию возможности выполнения требований по гарантийным срокам, срокам эксплуатации;
13. Участие в разработке исходных данных по условиям эксплуатации изделия и ГЧ, в части внесения требований по допустимым воздействиям агрессивной окружающей среды и мероприятиям по защите от них на всех стадиях эксплуатации (согласование)
14. Разработка видов общих в части внесения необходимых требований по: обеспечению стойкости конструкции к агрессивным атмосферным условиям эксплуатации;
15. Обеспечению герметичности и коррозионной стойкости топливных систем с ЖРД в течение ГС, СЭ;
16. Гарантийной сохранности и применению уплотнений и других элементов конструкции на основе РТИ, поставляемых по кооперации;
17. Разработка исходных данных по составу газовой среды в замкнутых отсеках изделия;

3.2 Расчет производственной программы цеха (расчет фактического годового фонда рабочего времени и производительности оборудования)

Исходя из технологических требований привод должен работать круглосуточно в автоматическом режиме. Установка работает по мере возникновения задачи проверки механической стойкости кабелей, т.е одно испытание занимает 10000 циклов перемещения каретки, что в свою очередь 1 цикл занимает 12 секунд. В итоге получаем 33 часа непрерывной работы при одном испытании [11]. Причём будет осуществляться порядка 233 испытаний в год.

Годовой фонд рабочего времени стенда:

$$T_{\phi} = T_{\text{кл}} - T_{\text{кр}} - T_{\text{тр}} - T_{\text{пр}}, \quad (33)$$

где $T_{\text{кл}}$ – календарное время работы, ч; $T_{\text{кр}}$ – продолжительность капитальных ремонтов, ч; $T_{\text{тр}}$ – продолжительность текущих ремонтов, ч; $T_{\text{пр}}$ – продолжительность текущих простоев, ч; T_{ϕ} – годовой фонд, ч.

По итогу выбранного оборудования предположим баланс рабочего времени станда в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Баланс рабочего времени станда

Планово-предупредительные ремонты		Текущие простои	
Капитальные ремонты	Текущие ремонты	Внеплановые ремонты и простои	Аварии
20 суток=480 ч		25 суток=600 ч	

Календарное время работы станда равно:

$$T_{\text{кл}} = 24 \cdot 365 = 8760 \text{ ч.} \quad (34)$$

Следовательно, фактическое время работы станда:

$$T_{\phi} = 8760 - 480 - 600 = 7680 \text{ ч.} \quad (35)$$

3.3 Расчет сметы капитальных затрат

Определим общую величину капитальных вложений:

$$K = C_{\text{об}} + T_{\text{р}} + Z_{\text{смп}} + Z_{\text{нр}}, \quad (36)$$

где K – общая величина капитальных вложений, руб; $C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования, руб; $T_{\text{р}}$ – транспортные расходы, руб; $Z_{\text{смп}}$ – затраты на строительно-монтажные работы, руб; $Z_{\text{нр}}$ – непредвиденные расходы, руб.

В таблице 3.2 приведена смета затрат на оборудование пневматической системы. Прочее неучтенное оборудование в размере 10-20% от стоимости

учтенного оборудования. Затраты на монтаж $Z_{\text{смр}}$ определим в размере 15% от стоимости оборудования, транспортные расходы T_p – 6-10%, резерв на непредвиденные расходы $Z_{\text{нр}}$ – 5 %.

Таблица 3.2. Расчет стоимости приобретенного оборудования

Наименование оборудования	Кол-во, шт	Цена за ед., руб	Общая стоимость, руб
Пропорциональный Пневмораспределитель FESTO VPWP-8-L-5	1	100000	100000
Пневмоцилиндр 125x2600	1	69155	69155
Пневмоглушитель G1/2	2	207	414
Компрессорная установка модели ДЭН-22Ш	1	577 193	577193
Охладитель сжатого воздуха UFK-L	1	54 951	54951
Адсорбционный осушитель модели ALD 225	1	46771	46771
Ресивер РВ-900	1	67884	67884
Датчик давления Festo SPAU-P12R	1	10600	10600
Датчик расхода Festo SFAB-600U-H	1	28000	28000
Siemens Simatic S7-1212C	1	25000	25000
Линейный энкодер SICK MAX48	2	30500	30500
ИТОГО учтенного оборудования			1010500
Прочее неучтенное оборудование			27360
ИТОГО стоимости оборудования			1037860

Затраты на монтаж:

$$З_{\text{смр}} = Ц_{\text{об}} \cdot 0,15 = 1037860 \cdot 0,15 = 155679 \text{ руб.} \quad (37)$$

Транспортные расходы:

$$Т_p = Ц_{\text{об}} \cdot 0,1 = 1037860 \cdot 0,1 = 103786 \text{ руб.} \quad (38)$$

Резерв на непредвиденные расходы:

$$З_{\text{нр}} = Ц_{\text{об}} \cdot 0,05 = 1037860 \cdot 0,05 = 51893 \text{ руб.} \quad (39)$$

Общая величина капитальных вложений определена:

$$K = 1037860 + 155679 + 103786 + 51893 = 1349118 \text{ руб.} \quad (40)$$

Таким образом капитальные вложения на разработку системы определены значением в 1349118 руб.

3.4 Расчет РСЭО

Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования за год определяются суммой эксплуатационных расходов, потерь электроэнергии, затрат на ремонт, амортизационные отчисления, и прочих расходов:

$$И_{\text{тек}} = A + П_p + Э + C_{\text{тр}}, \quad (41)$$

где $И_{\text{тек}}$ – эксплуатационные расходы, руб., $Э$ – потери электроэнергии $C_{\text{тр}}$ – затраты на текущий ремонт и обслуживание оборудования, A – амортизационные отчисления, руб, $П_p$ – прочие расходы, руб.

Прочие расходы примем в объеме 3 % от фонда ЗП:

$$П_p = 2572756 \cdot 0,03 = 77182 \text{ руб.} \quad (42)$$

Расчёт годовой суммы амортизационных отчислений:

$$Н_a = \frac{100}{T_a} = 6,67\%, \quad (43)$$

где $Н_a$ - норма амортизации оборудования, %; T_a - нормативный срок службы оборудования, равный 15-ти лет для нового оборудования, лет.

Амортизационные отчисления представляют собой отчисления части стоимости основных фондов для возмещения их износа. Амортизационные отчисления включены в издержки производства. В дальнейшем с помощью амортизационных отчислений производят замену физически изношенных и морально устаревших объектов новыми [12].

Норма годовой амортизации определена значением 6,67%, тогда годовые амортизационные отчисления есть следующая сумма:

$$A = \frac{K \cdot H_a}{100\%} = \frac{1349118 \cdot 6,67\%}{100\%} = 89986 \text{ руб.} \quad (44)$$

Стоимость потерь электроэнергии:

$$\mathcal{E} = P \cdot T_{\phi} \cdot C_{\mathcal{E}}, \quad (45)$$

где P – мощность установки, кВт; T_{ϕ} – фактическое время работы электрооборудования за год, ч; $C_{\mathcal{E}}$ – цена за 1 кВт·ч электроэнергии.

$$\mathcal{E} = 22 \cdot 7680 \cdot 3,25 = 549120 \text{ руб.}$$

Величина затрат на ремонты и обслуживание состоит из:

- 1) Стоимость энергии всех видов
- 2) Материалов
- 3) Запасных частей
- 4) Инструмента
- 5) Заработной платы ремонтного и дежурного персонала

Доля затрат на содержание основных средств принимается равной $k=0,2$ [11].

$$C_{\text{тр}} = A \cdot k \quad (46)$$

$$C_{\text{тр}} = 89986 \cdot 0,2 = 17997 \text{ руб.}$$

Таким образом, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования за год:

$$I_{\text{тек}} = 89986 + 77182 + 549120 + 17997 = 734285 \text{ руб.} \quad (47)$$

3.5 Расчёт затрат на материалы и на оплату труда со страховыми отчислениями

Общий фонд заработной платы (ЗП) складывается из основной и дополнительной заработной платы производственных рабочих, а также ЗП руководителей и специалистов.

К основной ЗП относится оплата труда по тарифным ставкам и окладам согласно тарифной сетке в зависимости от разряда производственных рабочих. Оплата труда руководителей и специалистов осуществляется в пределах должностных окладов, установленных на предприятии, в зависимости от сложности работы, уровня его квалификации и стажа [13].

К дополнительной ЗП относят доплаты компенсирующего, стимулирующего, мотивационного характеров и выплаты с целью регионального регулирования.

Стенд для испытаний работает в автоматическом режиме, но тем не менее необходимо присутствие человека для контроля процесса производства. Рабочий день производственных рабочих равен 12 часам и имеет 2 смены. Тогда за год количество часов определено значением 8760 (12 часов по 2 смены на 365 дней).

Годовая заработная плата производственного рабочего 6 разряда:

$$ЗП_{\text{п}} = C_i \cdot t, \quad (48)$$

где C_i – тарифная ставка, рублей в час, t – количество отработанного времени, часов.

$$ЗП_{\text{п}} = 2920 \cdot 107,35 = 313462 \text{руб.} \quad (49)$$

Заработная плата всех производственных рабочих определена:

$$ЗП_{\text{п}} = 313462 \cdot 3 = 940386 \text{руб.} \quad (50)$$

Дополнительные выплаты за работу в ночное время – 20 % оклада; доплата за работу в праздничные дни – 3 % оклада; доплата за работу с тяжелыми и опасными условиями труда – 10 %.

Тогда сумма всех доплат определена:

$$940386 \cdot (0,2 + 0,03 + 0,1) = 310327 \text{руб.} \quad (51)$$

К выплатам стимулирующего характера относят: дифференцированные надбавки к окладу за профессиональное мастерство; доплаты бригадирам, не освобожденным от основной работы (за руководство бригадой от 5 до 10 человек 10); доплата за совмещение профессий – до 30 % оклада. Указанные виды примем условно в размере 10 % оклада:

$$940386 \cdot 0,1 = 94039 \text{руб.} \quad (52)$$

При расчетах примем следующие проценты от оклада для премиальных отчислений: основные рабочие – 30 %, вспомогательные рабочие, руководители и специалисты – 20 %. Тогда премиальная оплата труда определена:

$$940386 \cdot 0,3 = 282116 \text{руб.} \quad (53)$$

Дополнительную ЗП производственных рабочих (основных и вспомогательных) примем на уровне 10% от основной ЗП:

$$940386 \cdot 0,1 = 94039 \text{руб.} \quad (54)$$

Региональное регулирование ЗП осуществляется с помощью районных коэффициентов. Для районов Урала установлен коэффициент 15% к окладу с учетом всех доплат и премий:

$$(940386 + 310327 + 94039 + 282116 + 94039) \cdot 1,15 = 1979043 \text{руб} \quad (55)$$

Отчисления на социальные нужды установлены в размере 30 % от общего фонда ЗП и включают в себя отчисления в пенсионный фонд РФ (22%), федеральный фонд обязательного медицинского страхования (5,1%), территориальный фонд обязательного медицинского страхования (2,9%).

Тогда, годовые отчисления составляют:

$$O_{\text{сн}} = 1979043 \cdot 0,3 = 593\,713 \text{руб.} \quad (56)$$

Результаты расчёта РСЭО сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3. Расчет РСЭО

Показатели	Значение, руб
Затраты на электроэнергию	549120
Затраты на амортизацию	89986
ФОТ	1979043
Отчисления на социальные нужды	593 713
Материальные затраты	17997
РСЭО	734285

3.6 Расчет прибыли и показателей рентабельности

В современном мире любое предприятие имеет возможность получать прибыль не только при осуществлении производственной деятельности, но также и посредством инвестиционной. Однако основным отличием инвестиционной прибыли от финансовой прибыли является период, на протяжении которого ее можно получить. За время порой длительного ожидания окупаемости инвестиций, в стране могут произойти различные, подчас существенные, изменения не только в потребительском спросе, но в уровне цен, макроэкономической ситуации. При этом может произойти обесценения вложенного капитала. Все вышеперечисленное требует особого подхода к оценке эффективности долгосрочных инвестиций на начальном этапе разработки проектов [14].

Чистый доход (ЧД) – накопленный эффект (сальдо денежного потока) за расчетный период [15]:

$$\text{ЧД} = \sum_{t=0}^T (P_t - Z_t), \quad (57)$$

где T – расчетный период (лет); P_t – приток денег в году t (руб); Z_t – отток денег в году t (руб); t – шаг расчета (1 год)

Приток денежных средств предприятия включает выручку от реализации продукции, амортизационные отчисления (в расчете на 1 год):

$$P_t = \Delta B + A \quad (58)$$

Инвестор в лице предприятия АО «ГРЦ им. Макеева» планирует назначить цену в размере 20000 руб. за одно испытание. Поскольку испытаний в году планируется провести 233, то приток денежных средств составит 5825000 руб.

$$P_t = 5825000 + 89986 = 4749986 \text{ руб.}$$

Отток денежных средств в первом году включает капитальные затраты. Во втором, третьем и последующих годах отток денежных средств включает в себя текущие затраты, и зарплату рабочих.

Отток денежных средств за первый год:

$$Z_{t1} = K = 1349118 \text{ руб.} \quad (59)$$

Отток денежных средств за последующие годы одинаковый и равен величине текущих затрат и затрат на оплату труда:

$$Z_{t2} = Z_{t3} = Z_{t4} = Z_{t5} = \Delta I_{\text{тек}} + 2572756 = 3307041 \text{ руб.} \quad (60)$$

Чтобы найти чистый доход, просуммируем разницу между денежным притоком и оттоком за расчетный период (5 лет):

$$\text{ЧД} = -1349118 + 5 \cdot (4749986 - 3307041) = 5865607 \text{ руб.}$$

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) – это сумма текущих эффектов за весь расчетный период, приведенная к начальному шагу с учетом нормы дисконта и рисков поправки:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (P_t - Z_t) \times \frac{1}{(1+E+z)^t}, \quad (61)$$

где E – норма дисконта (принимается равной процентной ставке ЦБ РФ, на май 2020 года равна 0,055); z – рискованная поправка (при инвестировании производства новых продуктов и услуг $z = 0,13$).

Норма дисконта:

$$\frac{1}{(1+E+z)} = \frac{1}{1,185} \quad (62)$$

$$\begin{aligned} \text{ЧДД} = & -1349118 + 1442945 \cdot \frac{1}{(1,185)^1} + 1442945 \cdot \frac{1}{(1,185)^2} + 1442945 \cdot \frac{1}{(1,185)^3} + \\ & + 1442945 \cdot \frac{1}{(1,185)^4} + 1442945 \cdot \frac{1}{(1,185)^5} = 3112600 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Если величина ЧДД инвестиционного проекта положительна, то он признается эффективным, т. е. обеспечивающим уровень инвестиционных вложений не меньший, чем принятая норма дисконта. Чем больше значение ЧДД, тем эффективнее проект.

Индекс доходности – показатель, отражающий эффективность инвестиционного проекта.

$$\text{ИД} = \left[\sum_{t=0}^T (P_t - Z_t) \times \frac{1}{(1+E+z)^t} \right] / \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+E+z)^t} \quad (63)$$

$$\text{ИД} = \frac{\left[\sum_{t=1}^T (P_t - Z_t) \times \frac{1}{(1+E+z)^t} \right]}{\sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+E+z)^t}} = (3112600 + 1349118) / \frac{1349118}{1,185^0} = \frac{4387488}{1349118} = 3,31$$

Индекс доходности инвестиций показывает отдачу от вложенного капитала, то есть, сколько прибыли принесёт каждый рубль дисконтированных капитальных вложений. ИД представляет собой отношение суммы приведенного эффекта (суммарных денежных поступлений) к величине инвестиций. Индекс доходности позволяет определить, сможет ли текущий доход от проекта покрыть капитальные вложения в него. Если индекс доходности меньше 1, то проект неэффективен. Но, поскольку ИД составил 3,31, то можно сделать вывод об эффективности проекта.

Индекс доходности является относительным показателем, поскольку показывает уровень доходов на единицу затрат: чем больше значение этого показателя, тем выше отдача каждого вложенного [16].

3.7 Расчет срока окупаемости проекта

Срок окупаемости инвестиций ($T_{ок}$) – это период, начиная с которого первоначальные вложения и другие затраты, связанные с инвестиционным проектом, покрываются суммарными результатами его осуществления. Срок окупаемости определяет время, за которое возмещаются первоначальные вложения за счет чистых поступлений, исчисляется от базового момента времени:

$$T_{окуп} = \frac{K}{P} \quad (64)$$
$$T_{окуп} = \frac{1349118}{4749986-3307041} = \frac{1349118}{1442945} = 0,935 \text{ года,}$$

где K – величина капиталовложений, P – годовая прибыль от внедрения мероприятий (результат), r ;

Срок окупаемости рекомендуется определять с помощью дисконтирования:

$$\sum_{t=0}^T \frac{(P_t - Z_t)}{(1+E+z)^t} \cong \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+E+z)^t} \quad (65)$$
$$\frac{1442945}{1,185^1} + \frac{1442945}{1,185^2} \cong \frac{1349118}{1,185^0}$$

Дисконтированный период окупаемости = 1.13 лет

3.8 Составление сводной таблицы технико-экономических показателей

Для наглядности в таблицу 3.4 сведены экономические показатели разработки пневмопривода.

Таблица 3.4. Основные экономические показатели

Наименование показателя	Результат разработки
Годовой объем производства	233 испытания/год
Капитальные вложения, тыс. руб.	1349

Продолжение таблицы 3.4

Наименование показателя	Результат разработки
Материальные затраты, тыс. руб.	18
Оплата труда, тыс. руб.	1979
Страховые взносы, тыс. руб.	594
Прочие расходы, тыс. руб.	77,8
Амортизационные отчисления, тыс. руб.	90
Итого прибыль в год, тыс. руб.	1443
Срок окупаемости (дисконтированный)	1,13 года

В итоге были рассчитаны технико-экономические показатели разработки пневмопривода мехатронной системы подвижной каретки стенда для проведения климатических испытаний на механическую стойкость кабелей. Определена производственная программа разработки мехатронной системы подвижной каретки, рассчитаны смета капитальных вложений, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, а также произведена оценка эффективности капитальных вложений.

Капитальные вложения реконструкции мехатронной системы составили 1349500 руб.

Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, потери электроэнергии, расчет амортизационных отчислений, затраты на ремонты и обслуживание электрооборудования составили после реконструкции составили 734285 руб. Прибыль составила 1443000 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы определены проблемы и особенности при выборе основного оборудования мехатронной системы подвижной каретки станда для проведения климатических испытаний на механическую стойкость кабелей АО “ГРЦ им. Макеева”, описан технологический процесс отдела № 38 и проведен анализ технологического процесса работы мехатронной пневмосистемы, также была разработана система автоматического управления, определены контроллер и датчики технологических координат и разработана архитектура системы автоматизации.

В рамках данной работы были рассчитаны технико-экономические показатели мехатронной системы, определена производственная программа, рассчитаны смета капитальных затрат, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, чистый дисконтированный доход, срок окупаемости и показатель индекса доходности. В ходе работы выбран пневмоцилиндр, пневматический пропорциональный распределитель с пилотным пропорциональным управлением.

Определены требования к пневмоприводу и системе автоматизации. Согласно технологическому процессу и предъявляемым к нему требованиям уместно использовать модульный контроллер серии SIMATIC S7-1212C.

Функциональная схема САР пневмопривода мехатронной системы представлена на рисунке 2.5 настоящей работы. Согласно ей реализована структурная схема регулирования положения пневмопривода мехатронной системы подвижной каретки.

Результирующая модель была составлена и исследована в специальном программном пакете MATLAB/Simulink.

По полученным результатам были сделаны выводы о соблюдении всех требований. Что говорит о правильности расчета системы автоматизированного управления.

В ходе выпускной квалификационной работы была рассчитана экономическая

эффективность разработки пневматического привода подвижной каретки стенда для проведения климатических испытаний на механическую стойкость кабелей-петель. Капитальные затраты на установку оборудования составили 1349118 рублей. Данная сумма включает стоимость основного и вспомогательного оборудования, расходы на транспортировку оборудования, его установку и непредвиденные расходы. Разработка данной мехатронной системы позволит проводить порядка 233 испытаний в год, что приведет к получению прибыли в размере 1443000 руб.

Срок окупаемости оборудования в ходе расчёта составил 1 год и 1,5 месяцев. Получившийся срок 1,13 года, значительно меньше срока установленного инвестором АО «ГРЦ им.Макеева» в пять лет, что говорит об экономической эффективности разработки стенда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герц Е.В. Расчёт пневмоприводов. Справочное пособие / Герц Е.В. Крейнин Г.В., – М., “Машиностроение”, 1975 г. -272с.
2. Башта Т. М., Машиностроительная гидравлика. «Машиностроение», 1971 г. 672с.
3. Ануриев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. В 3 т. /под ред. И. Н. Жестковой 8-е изд. – перераб. и доп. – М.: Машиностроение. 2001 – Т 1. – 864 с.
4. Ануриев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. В 3 т. /под ред. И. Н. Жестковой – 8-е изд. – перераб. и доп. – М.: Машиностроение. 2001 – Т 2. – 893 с.
5. Ануриев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. В 3 т. /под ред. И. Н. Жестковой – 8-е изд. – перераб. и доп. – М.: Машиностроение. 2001 – Т 3. – 912 с.
6. Донской А.С. Моделирование и расчет пневматических приводов: учебное пособие – СПб.: Изд-во СПбПУ, 2017. -76с.
7. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. Учебное пособие для машиностроительных вузов. М., “Машиностроение”, 1976 г. -424с.
8. Нагорный В.С. Устройства автоматики гидро- пневмосистем: Учебное пособие технических вузов/ Нагорный В.С., Денисов А.А. – М.: Высш. шк., 1991. – 367с.
9. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в МАТЛАВ 6.0. - СПб.: Корона принт., 2001. — 320 с.
10. Доманов А.Т. Теория автоматического управления. Курсовое проектирование: учеб.–метод пособие / А. Т. Доманов, Д. Л. Бурак, Е. В. Тарасюк. – Минск: БГУИР, 2019. – 69 с.
11. Каретникова Т. М. Экономика предприятия (организации) Текст метод. указания по направлению "Экономика" –Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ,

2013 – 40с.

12. Правдина Н. В. Экономика предприятия (организации); Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Экономика и упр. проектами ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2014 – 60 с.

13. Экономика предприятия: Тесты. Задачи. Ситуации: учебное пособие для вузов по экон. специальностям / под ред. В. Я. Горфинкеля, Б. Н. Чернышева. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008. - 335 с.

14. Попп Т.В. Определение экономической эффективности технических решений в дипломных проектах: методические указания к выполнению экономической части дипломного проектирования – Екатеринбург: УрГУПС, 2014. – 32 с.

15. Кучина Е.В. Производственные ресурсы машиностроительных предприятий: учебное пособие/ Е.В. Кучина, Е.С. Вахитова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 98с.

16. Кучина Е.В. Экономика организации: учебное пособие – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – 52 с.