

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы
Специальность 24.05.01 – Проектирование, производство и эксплуатация ракет
и ракетно-космических комплексов
Специализация – Эксплуатация стартовых и технических комплексов и систем
жизнеобеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

 В.В. Соловьёв
« _____ » _____ 2025 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

на тему: Модернизация пневмопривода стрелы устройств стыковки комплекса
универсального стартового комплекса Ангара

Исполнитель
студент группы 9111-ос


(подпись, дата)

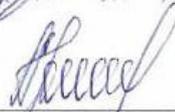
А.В. Тютерева

Руководитель
канд. техн. наук, доцент


(подпись, дата)

В.В. Соловьёв

Руководитель по БЖД
канд. техн. наук, доцент


(подпись, дата)

А.В. Козырь

Нормоконтроль


(подпись, дата)

М.А. Арёвков

Рецензент


(подпись, дата)

А.А. Карпук

Благовещенск 2025

устройств стыковки комплекса устройств стыковки коммуникаций ракеты-носителя, схемы для расчёта моментов ветровой нагрузки и моментов инерции, сборочный чертёж и детализовка пневмоцилиндра пневмопривода стрелы УС, существующая и модернизированная пневматические схемы пневмопривода стрелы УС, существующий и модернизированный алгоритмы работы пневмосхемы пневмопривода стрелы УС, сметная стоимость и основные показатели опытно-конструкторских работ по проектированию пневмоцилиндра двустороннего действия.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов): консультант по безопасности жизнедеятельности Козырь А. В., доцент, канд.техн.наук

7. Дата выдачи задания: 20.01.2025 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Соловьев В.В., доцент, канд.техн.наук.

(фамилия, имя, отчество, должность, учёная степень, учёное звание)

Задание принял к исполнению (дата): 20.01.2025 г.



(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Дипломная работа содержит 96 с., 27 рисунков, 17 таблиц, 12 источников.

УСТРОЙСТВА СТЫКОВКИ, ПНЕВМОПРИВОД СТРЕЛЫ, МЕХАНИЗМ ОТВОДА, ПНЕВМОЦИЛИНДР ДВУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ, МОМЕНТЫ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ, МОМЕНТЫ ИНЕРЦИИ, ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА, СМЕТНАЯ СТОИМОСТЬ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Универсальный стартовый комплекс Ангара предназначен для приёма РКН «Ангара А5» с КГЧ, включающими в свой состав автоматические КА и РБ ДМ, проведения подготовки к пуску, заключительных операций после пуска, а также проведения работ в случае несостоявшегося пуска.

Для подвода коммуникаций технологического оборудования и электрических кабелей к РКН «Ангара А5», электрических кабелей, магистралей СОСГ и ЖСОТР к РБ ДМ, а также безударного автоматического отвода от РКН отделяемых частей разъёмных соединений с присоединёнными к ним коммуникациями и кабелями после отделения их от III ступени РН «Ангара А5» и РБ ДМ в состав универсального стартового комплекса входит комплекс устройств стыковки коммуникаций ракеты-носителя (УСК РН).

Комплекс УСК РН представляет собой два самостоятельных УС-1 и УС-2, закреплённых на колоннах КЗБ и двух комплексов пневмооборудования, размещённого в помещениях правой и левой колонн КЗБ.

В рамках данной работы произведён расчёт и проектирование пневмоцилиндра двустороннего действия, модернизация пневматической схемы привода стрелы УС, расчёт сметной стоимости и определение основных параметров опытно-конструкторских работ по проектированию пневмоцилиндра двустороннего действия, а также рассмотрены методы и способы безопасности, позволяющие снизить риски возникновения несчастных случаев при работе с пневмоприводами.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения.....	7
Введение.....	9
1 Анализ системы и разработка технического задания на проектирование...	11
1.1 Назначение и состав комплекса УСК РН.....	11
1.2 Пневмопривод стрелы.....	17
1.3 Пневматическая схема.....	21
1.4 Работа комплекса пневмооборудования.....	27
1.5 Техническое задание на проектирование пневмоцилиндра двустороннего действия.....	29
2 Расчёт пневмоцилиндра двустороннего действия.....	30
2.1 Расчёт усилия на штоке пневмоцилиндра.....	30
2.2 Определение основных параметров пневмоцилиндра.....	50
3 Расчёт конструктивных параметров пневмоцилиндра и модернизация пневматической схемы.....	60
3.1 Конструктивные требования к пневмоцилиндрам.....	60
3.2 Проектирование пневмоцилиндра двустороннего действия.....	61
3.2.1 Соединение днища с цилиндром.....	61
3.2.2 Поршень со штоком.....	64
3.2.3 Направляющая штока.....	67
3.2.4 Демпферное устройство и другие способы безударного торможения поршня.....	68
3.3 Модернизация пневматической схемы пневмопривода стрелы УС.....	73
4 Безопасность и экологичность производства.....	81
4.1 Существующие системы безопасности при эксплуатации пневмоприводов.....	81
4.2 Правила безопасной эксплуатации пневмоприводов персоналом.....	84
4.3 Техническое обслуживание пневмоприводов.....	86

5 Экономическая часть.....	88
5.1 Определение сметной стоимости опытно-конструкторских работ.....	88
5.2 Определение основных показателей ОКР.....	90
Заключение.....	93
Библиографический список.....	95

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ

АИ – автономные испытания;

АСУПП РКН – автоматическая система управления подготовкой и пуском РКН;

АСУ ТО – автоматическая система управления технологическим оборудованием;

БАСУ – бортовая автоматизированная система управления;

БКС – бортовая кабельная сеть;

БРС – блок разъёмных соединений;

ВСОТР – воздушная система обеспечения температурного режима;

ГТО – годовое техническое обслуживание;

КЗБ – кабель-заправочная башня;

КИ – комплексные испытания;

КГЧ – космическая головная часть;

Комплекс УСК (КУСК) РН – комплекс устройств стыковки коммуникаций РН 373СМ02:

КП – команда пуск;

КПА – комплекс проверочной аппаратуры;

КРП – кабели разового применения;

МО – механизм отвода УС-1 и УС-2;

МПДО (пиросредства) – изделие МПДО-2;

НКС – наземная кабельная система;

ОКР – опытно-исследовательская работа;

ПКВ – привод конечных выключателей;

ПО – пневмооборудование;

ПТК – пилотируемый транспортный корабль;

РБ – разгонный блок;

РКН – ракета космического назначения;

РН – ракета-носитель;

РС – разъёмное соединение;

СИП ТО – система измерения параметров технологического оборудования;

СК – стартовый комплекс;

СОСГ – система обеспечения сжатыми газами;

СОТР – система обеспечения температурного режима;

ТО – техническое обслуживание;

УС – устройства стыковки;

УС-1 – устройство стыковки БРС-О и БРС-Г;

УС-2 – устройство стыковки БРС-Э1, БРС-Э2; РС ВСОТР КГЧ и ЭПРС;

ЭПК – электропневмоклапан;

ЭПРС – электропневморазъёмный соединитель РБ.

ВВЕДЕНИЕ

С развитием науки и техники многие операции, которые ранее выполнялись при помощи ручного труда, стали механизироваться, а затем автоматизироваться. Т.е. на замену физическому труду человека пришли механизмы, машины, приборы и аппараты. Таким образом, это позволило не только более рационально использовать ресурсы, но и оградить человека от выполнения особо тяжёлых, трудоёмких, утомительных и опасных работ, таких как работы на большой высоте или с вредными для здоровья химическими веществами.

Механизация — направление развития производства, характеризующееся применением машин и механизмов, заменяющих физический труд рабочего [8].

Различают следующие виды механизации:

- частичная механизация – позволяет заменить только некоторые действия, поэтому характеризуется применением простейших механизмов;
- комплексная механизация – позволяет заменить на машинный труд все операции: основные, вспомогательные, установочные и транспортные.

Автоматизация является высшей степенью механизации и характеризуется применением машин, агрегатов и аппаратов, позволяющих осуществлять технологические процессы без непосредственного участия рабочих, а только под их контролем. Важную роль при этом играет автоматизация процессов управления.

Автоматизация также делится на два вида:

- частичная автоматизация включает лишь часть операций;
- комплексная автоматизация охватывает автоматическим все операции: основные, вспомогательные, установочные и транспортные.

Для автоматизации процесса подвода и отвода стел стыковочных устройств УС-2 и УС-1 комплекса УСК РН к (от) бакам (-ов) третьей ступени РКН «Ангара А5» используется пневмопривод.

Преимущества пневмоприводов по сравнению с другими средствами автоматизации:

- надёжность функционирования;
- простота конструкции;
- сравнительная лёгкость эксплуатации и обслуживания;
- наличие возможности воспроизведения поступательного движения без каких-либо передаточных механизмов;
- большие скорости срабатывания и более низкая стоимость оборудования;
- воздух может быть удален в атмосферу из любой точки системы, что упрощает конструкцию привода;
- неограниченный запас воздуха в качестве рабочего тела [2].

Однако по сравнению с гидроприводами, пневмоприводы развивают меньшие усилия из-за более высокого давления жидкости.

Цель работы: обеспечение автоматического подвода и отвода стрел УС-1 и УС-2 к (от) бакам (-ов) III ступени РН «Ангара А5».

Задачи:

- расчёт и проектирование пневмоцилиндра двустороннего действия;
- модернизация пневматической схемы привода стрелы;
- экономический расчёт стоимости проведения опытно-конструкторских работ по проектированию пневмоцилиндра двустороннего действия и определение основных показателей ОКР;
- рассмотрение методов и способов безопасности, позволяющих снизить риски возникновения несчастных случаев при работе с пневмоприводами.

1 АНАЛИЗ СИСТЕМЫ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Универсальный стартовый комплекс Ангара предназначен для приёма РКН «Ангара А5» с КГЧ, включающими в свой состав автоматические КА и РБ ДМ, проведения подготовки к пуску, заключительных операций после пуска, а также проведения работ в случае несостоявшегося пуска.

Для подвода коммуникаций технологического оборудования и электрических кабелей к РКН «Ангара А5», электрических кабелей, магистралей СОСГ и ЖСОТР к РБ ДМ, ручного подсоединения УС к БРС-О, БРС-Г, БРС-Э1, БРС-Э2, РС-ВСОТР-КГЧ III ступени РН «Ангара А5» и ЭПРС РБ ДМ, а также безударного автоматического отвода от РКН отделяемых частей разъёмных соединений с присоединёнными к ним коммуникациями и кабелями после отделения их от III ступени РН «Ангара А5» и РБ ДМ, с учётом возможности его дооснащения для обеспечения пуска РН «Ангара А5В» и РН «Ангара А5П» с ПТК, в состав универсального стартового комплекса входит комплекс устройств стыковки коммуникаций ракеты носителя (УСК РН). Данный комплекс располагается на кабель-заправочной башне стартового комплекса.

1.1 Назначение и состав комплекса УСК РН

Комплекс устройств стыковки коммуникаций РН обеспечивает:

- крепление и прокладку концевых участков пневмогидравлических коммуникаций ТО и кабелей;
- ручной подвод к РКН стрел УС-1 и УС-2 с проложенными по ним коммуникациями;
- ручное подсоединение подвижных частей УС к БРС-О, БРС-Г, БРС-Э1, БРС-Э2, РС-ВСОТР-КГЧ и ЭПРС РБ ДМ;
- возможность прокладки по УС-2 кабелей БРС-Э1, БРС-Э2 после подсоединения УС-2 к БРС-Э1, БРС-Э2;

– возможность ручного подсоединения пневмогидравлических коммуникаций и кабелей к БРС-О, БРС-Г, РС-ВСОТР-КГЧ III ступени РН и ЭПРС РБ ДМ;

– подготовку к отводу по командам АСУ ТО;

– компенсацию взаимных перемещений РКН и КЗБ:

1) при удержании средствами КЗБ, как «сухой», так и заправленной;

2) при заправленной РКН без удержания средствами КЗБ;

3) при старте РКН до разделения БРС, РС и ЭПРС.

– выдачу в АСУ ТО сигналов, характеризующих готовность комплекса к отводу, а после отвода – характеризующих отведённое положение подвижных частей;

– срабатывание исполнительных элементов пневмооборудования комплекса по командам АСУ ТО;

– автоматический безударный отвод подвижных частей УС с закреплёнными на них коммуникациями, кабелями и отделяемыми частями разъёмных соединений на расстояние и за время, исключающее их соударение с поднимающейся РКН после разделения БРС, РС и ЭПРС, а также с элементами КЗБ по командам АСУПП РКН;

– отвод подвижных частей УС с закреплёнными на них коммуникациями, кабелями и отделяемыми частями БРС, РС и ЭПРС на расстояние 10 метров от наружного обвода центрального блока РН;

– демпфирование ударной нагрузки, передаваемой на КЗБ, возникающей при отводе отделяемых частей разъёмных соединений с подсоединёнными к ним коммуникациями и отделяемыми частями разъёмных соединений;

– удержание подвижных частей УС с закреплёнными на них коммуникациями и отделяемыми частями разъёмных соединений в отведённом положении;

– УС обеспечивает возможность использования имитаторов отделяемых частей БРС, РС и ЭПРС, входящих в состав комплекса для:

1) проверки правильности раскладки и крепления пневмогидравлических коммуникаций наземных систем;

2) хранения коммуникаций в период между пусками;

3) проверки УС на функционирование при подготовке к пуску РКН и при проведении ГТО;

– возможность демонтажа отделённых частей БРС, РС и ЭПРС, коммуникаций и кабелей разового применения с УС после старта РКН и эвакуацию их с КЗБ с использованием средств обслуживания, кранового оборудования и грузозахватных средств.

Комплекс УСК РН представляет собой два самостоятельных УС-1 и УС-2, закреплённых на колоннах КЗБ и двух комплексов пневмооборудования, размещённого в помещениях правой и левой колонн КЗБ.

УС-1 предназначено для ручного подвода к БРС-О и БРС-Г коммуникаций технологических систем, размещённых на УС-1, и отвода их с отделяемыми частями БРС при старте РКН в автоматическом режиме.

УС-2 предназначено для ручного подвода к РКН коммуникаций технологических систем, кабелей ЭПРС в случае использования РБ ДМ, рукава СОТР-КГЧ, прокладки кабельных стволов кабельной сети РН, от БРС-Э к престыковочной плите, установленной на КЗБ, и отвода их с отделяемыми частями БРС-Э, РС ВСОТР-КГЧ и ЭПРС при старте РКН в автоматическом режиме.

Пневмооборудование предназначено для автоматической выдачи сжатого воздуха заданных параметров в пневмоприводе УС-1 и УС-2 по командам АСУ ТО или от КРП КПА в ручном режиме при проведении проверок при техническом обслуживании и размещено в помещениях восьмого этажа правой и левой колонн КЗБ.

Имитатор борта предназначен для имитации борта III ступени РН А с имитацией плоскостей разделения БРС-О, БРС-Г, БРС-Э и ЭПРС и используется при проведении АИ, КИ и комплексной проверки процесса разделения и отвода рукава СОТР КГЧ.

Плата пристыковочная предназначена для соединения электрических соединителей кабелей БКС с электрическими соединителями кабельной сети, размещаемой на КЗБ, а также для защиты электрических соединителей, установленных на ней, от атмосферных осадков в период хранения. Плата крепится на защитном коробе кабельной сети, размещаемой на КЗБ.

На УС-1 и УС-2 размещается комплект кабелей исполнительных и сигнальных устройств, предназначенный для соединения изделий МПДО, путевых переключателей, датчиков угловых перемещений через соединительные ящики с кабелями АСУ ТО, СИП ТО и АСУПП РКН, размещённых на КЗБ.

Также на УС-1 и УС-2 размещается комплекс узлов крепления коммуникаций, предназначенный для трассировки и крепления коммуникаций и кабелей по УС.

УС-1 закреплено на передней стенке правой колонны КЗБ, этаж 8.

УС-2 закреплено на передней стенке левой колонны КЗБ, этаж 9.

Размещение УС на колоннах КЗБ представлено на рисунке 1.

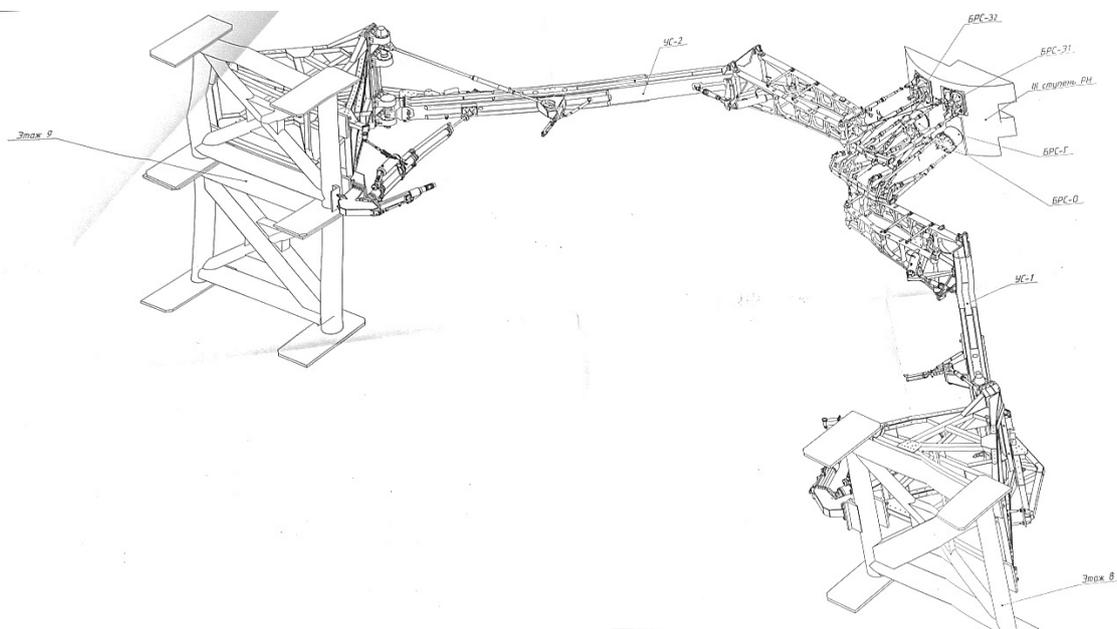


Рисунок 1 – Размещение УС на колоннах КЗБ

УС-1, изображённое на рисунке 2, состоит из рамы, закреплённой на колонне КЗБ, к раме шарнирно крепится стрела, поворот стрелы обеспечивается

пневмоприводом одностороннего действия. На конце стрелы крепится механизм отвода, обеспечивающий первичный отвод БРС, который приводится в действие пневмоприводом механизма отвода, энергия отвода механизма гасится гидротормозом. На конце рам механизма отвода устанавливается следящая система, связывающая УС-1 с БРС, и обеспечивающая слежение за перемещениями БРС при стоянии РКН на ПС, а также при старте РКН.

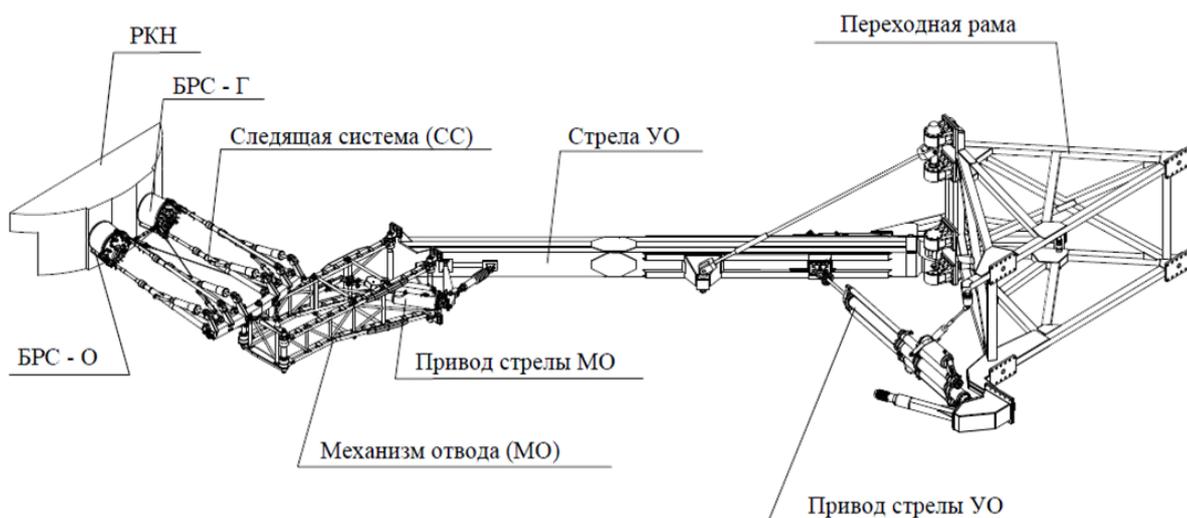


Рисунок 2 – Общий вид УС-1

Состав и конструкция УС-2 аналогичны УС-1, общий вид УС-2 представлен на рисунке 3.

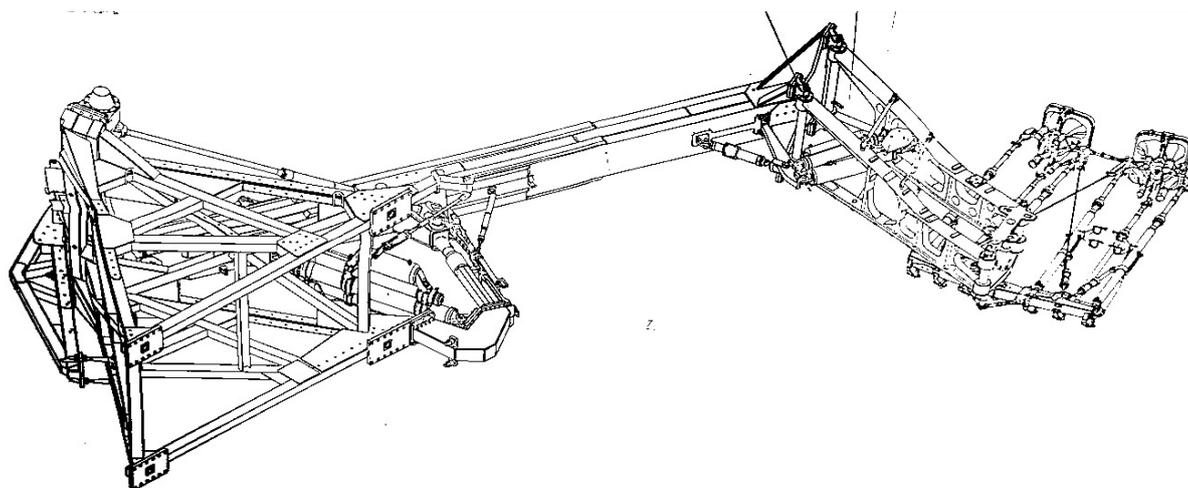


Рисунок 3 – Общий вид УС-2

При использовании РБ ДМ, на механизме отвода УС-2 устанавливается МО ЭПРС, обеспечивающий отвод ЭПРС с кабелями и коммуникациями при старте РКН.

Принцип действия комплекса.

В ручном режиме подвижные части УС-2 с коммуникациями подводятся к РН, следящая система УС-2 соединяется с БРС-Э, рукава СОТР-КГЧ подсоединяется к РС ВСОТР-КГЧ. В случае применения РБ ДМ, МО ЭПРС подсоединяется к ЭПРС.

После соединения УС-2 с БРС РН производится прокладка стволов кабелей БСК, подсоединение пневмогидравлических коммуникаций к БРС-Э и ЭПРС, а также подсоединение кабелей к ЭПРС.

Затем в ручном режиме подвижные части УС-1 с коммуникациями подводятся к РН, следящая система УС-1 соединяется с БРС, пневмогидравлические коммуникации присоединяются к БРС.

Подготовка к отводу и сам отвод осуществляется автоматически по заданной циклограмме по командам АСУ ТО, АСУПП РКН, а при использовании РБ ДМ и по НППК СУ РБ в следующей последовательности:

- непосредственно перед эвакуацией персонала в пневмооборудование комплекса подаётся сжатый воздух от СОСГ;

- за время от десяти до двадцати минут до старта РКН, по команде АСУ ТО подаётся сжатый воздух в пневмоприводы стрелы и механизма отвода комплекса, производится взведение УС;

- в процессе старта при подъёме РКН на 32 мм АСУПП РКН формирует команду на подрыв изделий МПДО УС-1, а через 33 мс на подрыв изделий МПДО УС-2, одновременно БАСУ формирует команду на разделение БРС-О и БРС-Г, а через 33 мс формирует команду на разделение БРС-Э. При использовании РБ ДМ, СУ РБ подаёт команду на подрыв пиросредства ЭПРС.

Отвод УС производится в следующей последовательности:

– при подрыве изделий МПДО замка стрелы замок открывается и освобождает стрелу, при подрыве изделий МПДО пиропневмоклапана в рабочую полость пневмопривода МО подаётся сжатый воздух;

– при наличии расфиксированных БРС начинается отвод БРС с коммуникациями за счёт перемещения рам МО, а в дальнейшем за счёт поворота стрел, который обеспечивается пневмоприводами, в которые заблаговременно был подан сжатый воздух;

– по завершению отвода, стрелы фиксируются в отведённом положении.

В процессе отвода УС переключатели путевые и преобразователи угловых перемещений, устанавливаемые на УС, выдают в СМП ТО информацию о динамике отвода.

1.2 Пневмопривод стрелы

Пневмопривод стрелы, изображённый на рисунке 4, предназначен для создания необходимого усилия для поворота стрелы при отводе БРС и торможения стрелы в конце отвода.

Пневмопривод состоит из пневмоцилиндра 4, двух гидротормозов 5 и бака 6. Пневмоцилиндр, гидротормоза и бак соединяются в единый блок с помощью полухомутов 2 и 11. Штоки гидротормозов соединяются со штоком пневмоцилиндра 4 посредством траверсы 10 и гаек 9. Штоковые полости гидротормозов через металлорукава 8 и 12 сообщаются с баком 6, который герметично закрыт пробкой 3, ввинченной в горловину бака.

В полухомуты ввинчены цапфы 7, посредством которых к пневмоприводу присоединяется подвеска, с помощью которой вывешивается пневмопривод.

Пневмопривод через шаровый шарнир соединяется с проушиной 1. Шарнир состоит из шара 16, установленного в проушинах пневмопривода 4, пальца 17 и втулки 15. Шарнир фиксируется посредством шайбы 14 и гайки 13.

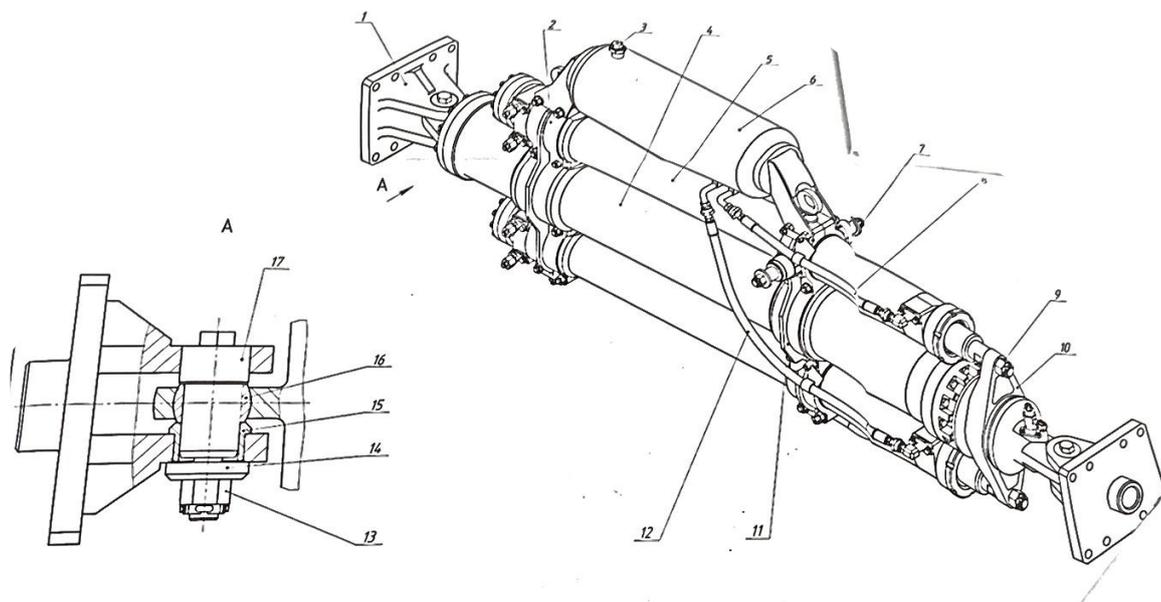


Рисунок 4 – Пневмопривод среды

Пневмоцилиндр, изображённый на рисунке 4, телескопический и состоит из штока 8 с поршнем 13, зафиксированным на штоке гайкой 18. Шток с поршнем перемещается в цилиндре 10, в котором установлена направляющая 5, зафиксированная в цилиндре 11 траверсой 4. Величина перемещения штока равная 500 мм определяется втулкой 9.

На штоке 8 установлен поршень 12, зафиксированный гайкой 15. Цилиндр 10 с поршнем перемещается в цилиндре 11, который заглушен проушиной 16. С другой стороны в цилиндре установлена направляющая 6, которая фиксируется болтами 7. Цилиндры, штока и поршни образуют две рабочие полости И и К. Полость И является первой ступенью пневмопривода стрелы, а полость К является второй ступенью.

На шток 8 первой ступени навинчена проушина 1, которая взаимодействует с траверсой 4 через резиновый буфер 3. В проушину 1 вмонтирован вращающийся штуцер 2, состоящий из корпуса 21 и собственно штуцера 22, вращающегося относительно корпуса. Штуцер 2 предназначен для подачи воздуха в полость И первой ступени пневмопривода.

Для подачи сжатого воздуха во вторую ступень служит штуцер 19, закреплённый на цилиндре 11 болтами 20.

Запоршневая полость Л сообщается с атмосферой через два фильтра 23, ввинченных в проушину 16.

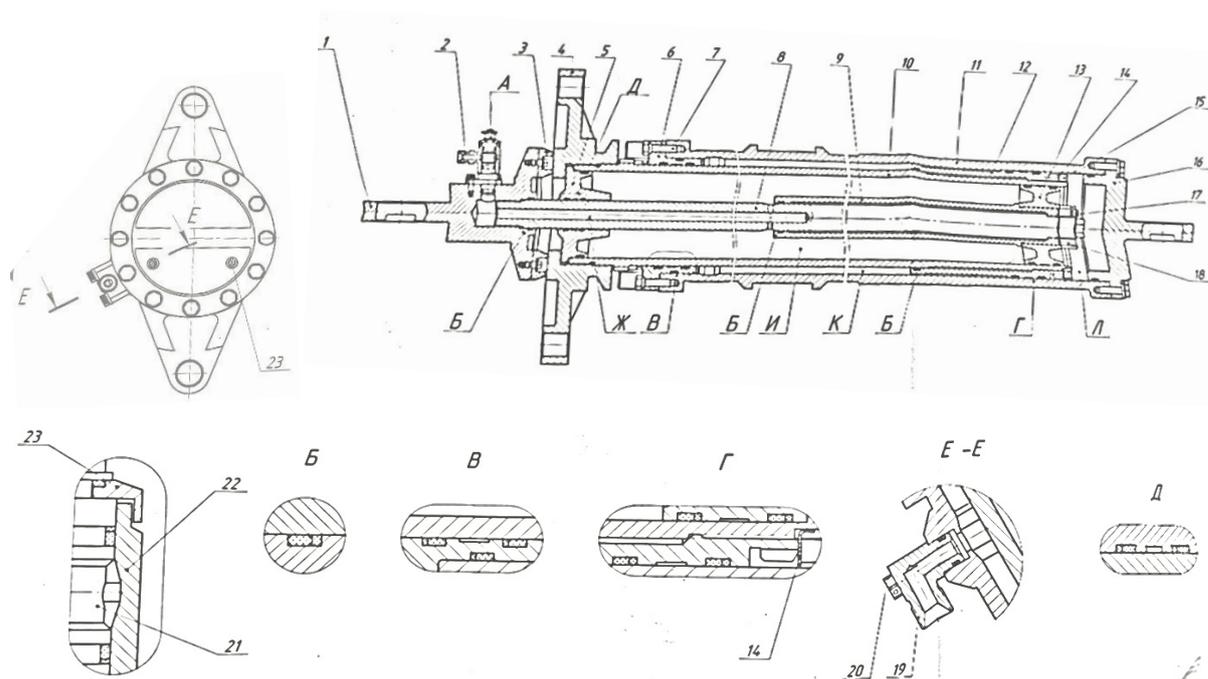


Рисунок 5 – Пневмоцилиндр

В каналах направляющих, поршней и штуцеров установлены уплотнения, состоящие из защитных фторопластовых шайб резиновых колец.

Гидротормоз 5, изображённый на рисунке 6, предназначен для гашения кинетической энергии подвижных частей УС-1 в конце отвода БРС и состоит из цилиндра 4, закрытого заглушкой 2, и направляющей 7, удерживаемой в цилиндре 4 гайкой 8. К заглушке 2 гайкой 1 крепится веретено 6. К цилиндру крепится два штуцера 10, заглушенных заглушками 12, гайкой 11, а также штуцер 9 для сообщения с полостью расширительного бака.

В цилиндре 4 перемещается шток 5 с поршнем 3.

Веретено 6 имеет переменное сечение по длине, обеспечивающие минимальное сопротивление перемещаемого штока в начале отвода стрелы и обеспечивающее, по заданному закону, нарастание усилия сопротивления перемещению штока в конце отвода стрелы. Сопротивление перемещению штока создаётся за счёт перетекания жидкости из полости В через щелку между

поршнем 3 и веретеном 6, через полость Г, Д в расширительный бак пневмопривода.

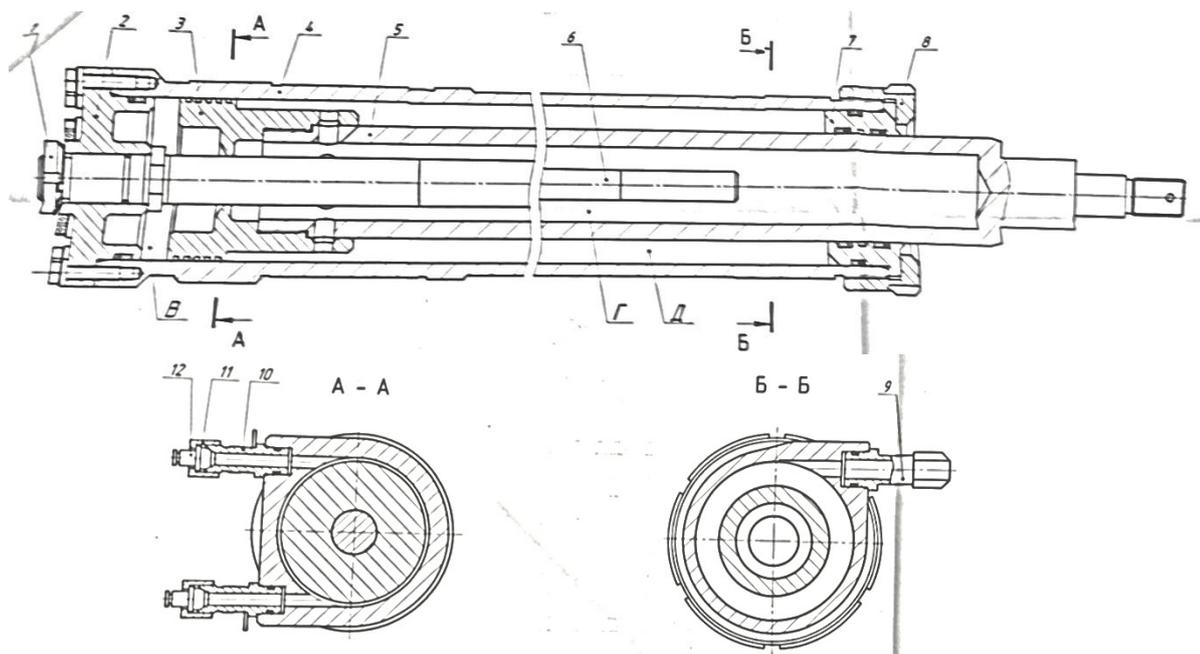


Рисунок 6 – Гидротормоз

Работа пневмопривода стрелы заключается в следующем: при подводе стрелы в переднее положение, шток пневмоцилиндра первой ступени выдвигается, а затем начинают выдвигаться шток второй ступени совместно со штоками гидротормоза, при этом жидкость, находящаяся в полостях Г, Д и в расширительном баке, перетекает в полость В.

За время от пятнадцати до двадцати минут до старта РКН в полости И и К пневмоцилиндра подаётся сжатый воздух, причём в полость К подаётся сжатый воздух меньшего давления, чем в полость И.

За счёт втулки 9, при вытянутом штоке 8 пневмоцилиндра, полость И имеет значительный объём и выполняет роль ресивера.

Так как стрела УС зафиксирована, то после подачи давления движение штоков, связанных со стрелой невозможно.

По команде АСУПП РКН замок стрелы освобождает её, и за счёт давления сжатого воздуха в полости И начинает двигаться шток 8 до упора буфера 3 в траверсу 4, после этого начинает двигаться цилиндр 10.

Совместно с цилиндром 10 двигаются и штоки 5 гидротормозов, находящаяся в гидротормозах жидкость перетекает из полости В через щель между поршнем 3 и веретеном 6, за счёт чего происходит торможение подвижных частей УС-1.

Главным недостатком рассмотренного пневмопривода является отсутствие возможности автоматического подвода стрелы устройств стыковки к бакам третьей ступени РКН.

Для устранения данного недостатка предлагается заменить существующий пневмоцилиндр на пневмоцилиндр двустороннего действия, характеризующийся в первую очередь возможностью автоматического движения штока в обоих направлениях.

Так как в таких пневмоцилиндрах сжатый воздух подаётся в обоих направлениях, то необходимо также изменить пневматическую схему пневмопривода.

1.3 Пневматическая схема

Пневматическая схема — это технический документ, содержащий в виде условных графических обозначений информацию о строении изделия, его составных частях и взаимосвязи между ними, действие которого основывается на использовании энергии сжатого газа [11].

Пневматическая схема подключения УС-1 представлена на рисунке 7, а УС-2 на рисунке 8.

На принципиальной схеме изображают все пневматические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных пневматических процессов, и все пневматические связи между ними [3]. Принципиальные схемы пневмоцифтов управления и пневмоцифтов наддува ПЩ1 и ПЩ2 представлены на рисунке 9 и 10 соответственно.

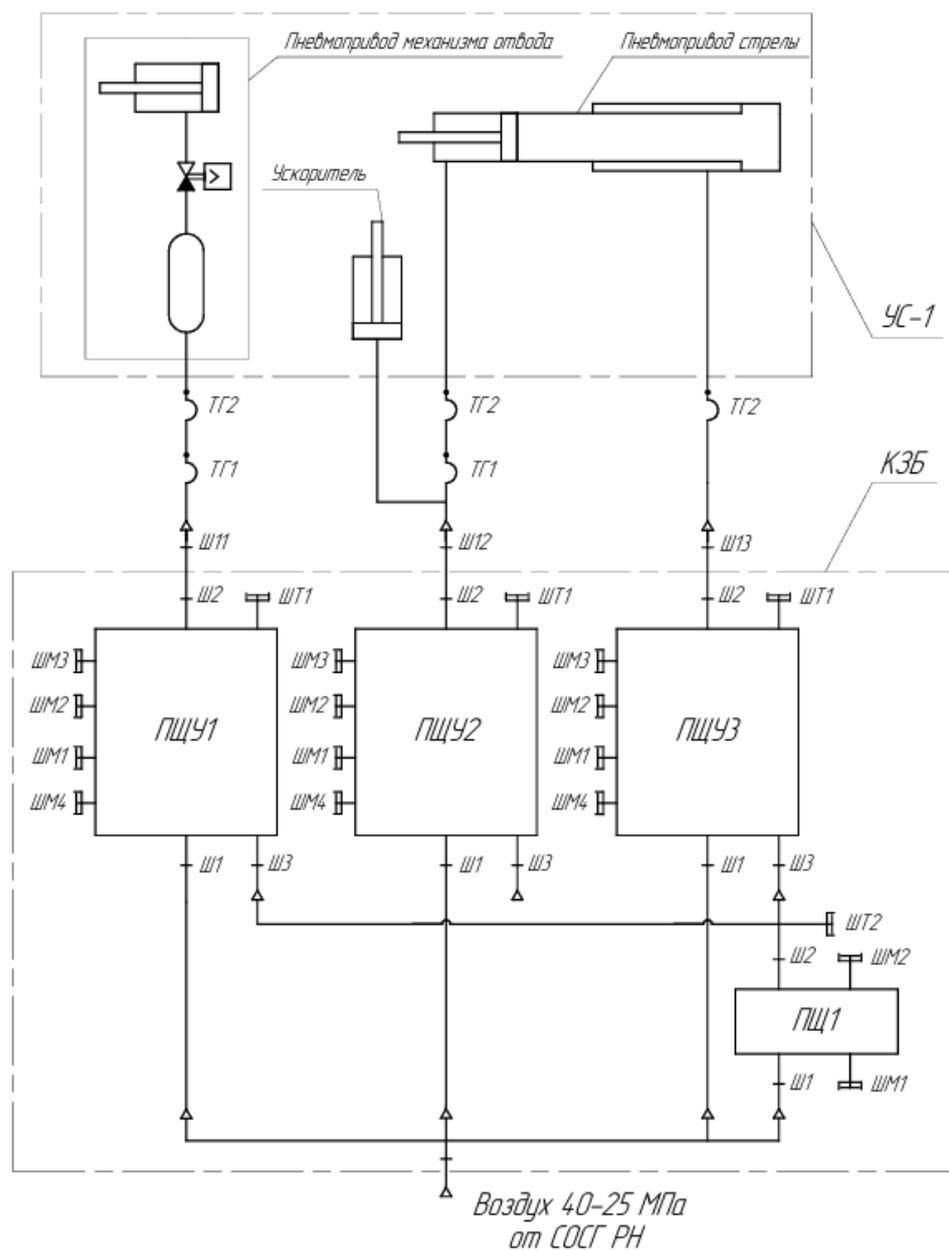


Рисунок 7– Пневматическая схема подключения УС-1

В таблице 1 приведён перечень пневмоэлементов, входящих в пневматические схемы подключения, изображенных на рисунках 7 и 8.

Таблица 1 – Элементы пневматической схемы подключения

Обозначение	Наименование
ПЩУ1-ПЩУ6	Пневмоцит управления
ПЩ1, ПЩ2	Пневмоцит наддува
ТГ1-ТГ10	Трубопровод гибкий

Обозначение	Наименование
Ш1-Ш3, Ш11-Ш13, Ш18-Ш20, Ш25, ШТ1-ШТ3	Штуцер
ШМ1-ШМ4	Штуцер манометровый

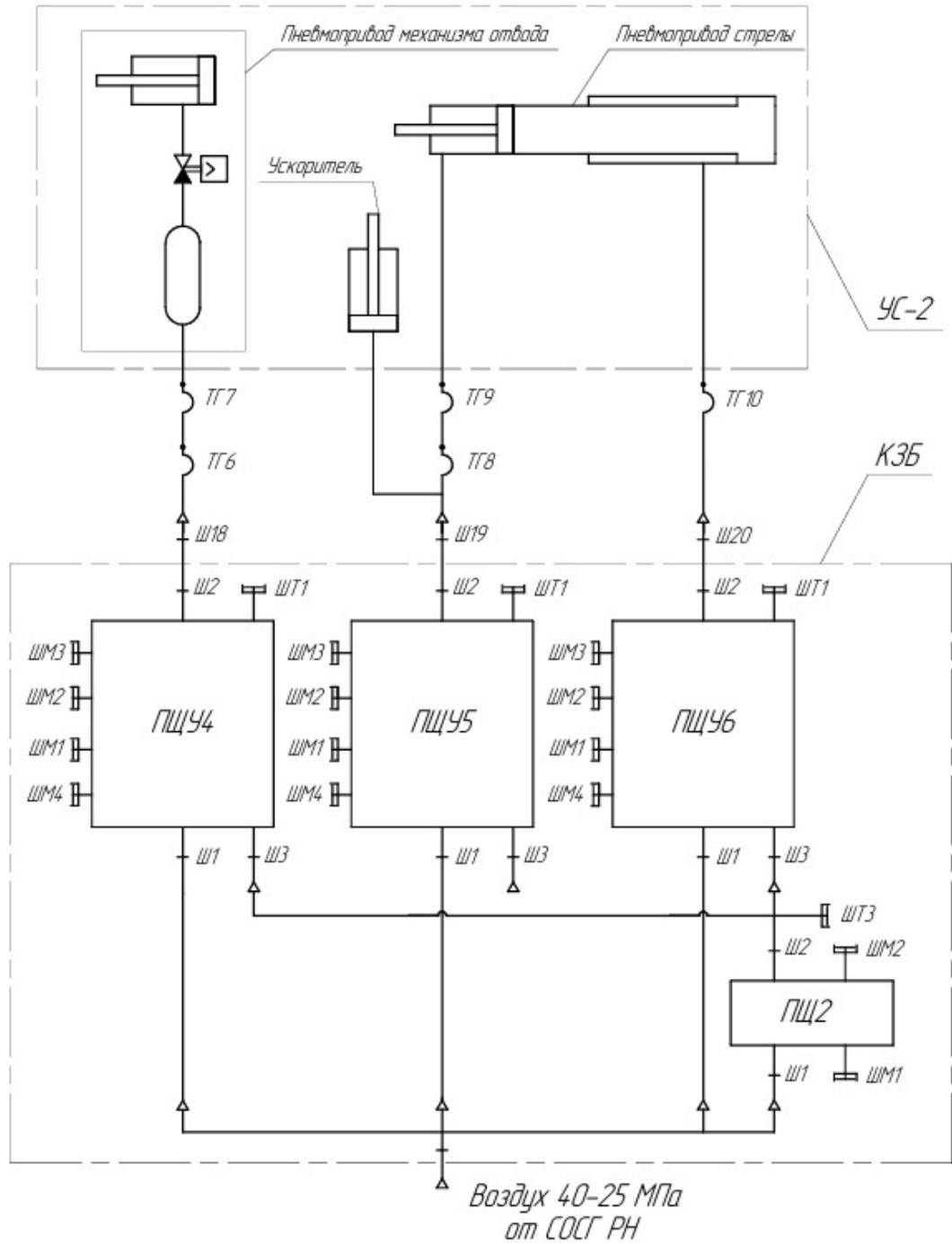


Рисунок 8– Пневматическая схема подключения УС-2

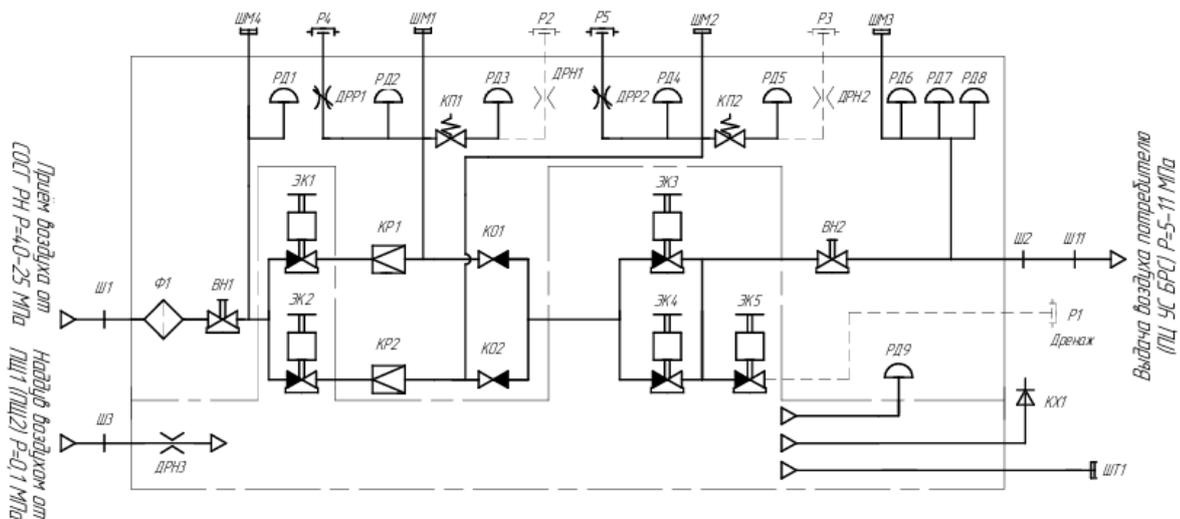


Рисунок 9– Принципиальная схема пневмоцифров управления

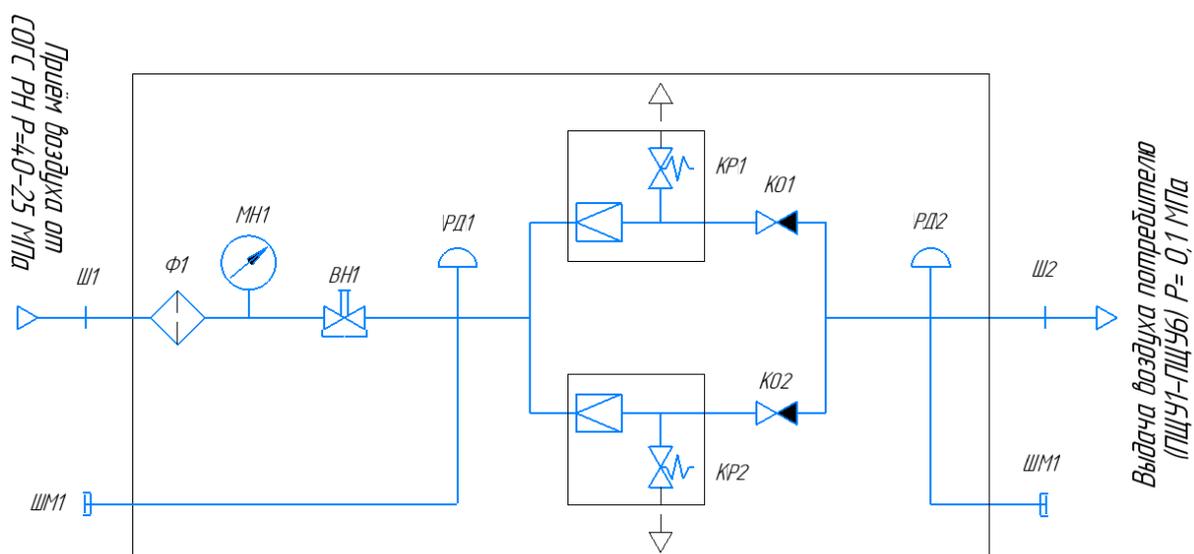


Рисунок 10 – Принципиальная схема пневмоцифров наддува ПЩ1 и ПЩ2

В таблице 2 приведён перечень пневмоэлементов, входящих в принципиальную схему пневмоцифров управления.

Таблица 2 – Элементы пневматической схемы пневмоцифров управления

Обозначение	Наименование
ВН1, ВН2	Вентиль с блокировкой открытого положения
ДРН1, ДРН2, ДРН3	Дроссель нерегулируемый
ДРП1, ДРП2	Редуктор (дроссель регулируемый)

Обозначение	Наименование
КО1, КО2	Клапан обратный
КП1, КП	Клапан предохранительный
КР1, КР2	Редуктор (пневмоклапан редуционный)
КХ1	Клапан дыхательный
Р1-Р5	Рассекатель
РД1-РД5	Сигнализатор давления строенный
РД6-РД8	Сигнализатор давления сдвоенный
РД9	Реле давления
Ф1	Фильтр газовый
Ш1-Ш3, ШТ1	Штуцер
ШМ1-ШМ4	Штуцер манометровый
ЭК1-ЭК5	Электропневмоклапан

В таблице 3 приведён перечень пневмоэлементов, входящих в принципиальную схему пневмоцитов наддува ПЦ1 и ПЦ2.

Таблица 3– Элементы пневматической схемы пневмоцитов наддува ПЦ1 и ПЦ2

Обозначение	Наименование
ВН1	Вентиль с блокировкой открытого положения
КР1, КР2	Редуктор (пневмоклапан редуционный)
КО1, КО2	Клапан обратный
МН1	Манометр
РД1	Сигнализатор давления строенный
РД2	Реле давления сдвоенное
Ф1	Фильтр газовый
Ш1, Ш2	Штуцер
ШМ1, ШМ2	Штуцер манометровый

В данные схемы входят пневмоэлементы, имеющие следующие назначения:

– вентили предназначены для ручного перекрытия магистрали. Во всех пневмоцилиндрах комплекса пневмооборудования (ПО) используются вентили с устройством блокировки открытого положения затвора;

– предохранительные клапаны предназначены для сброса избыточного давления рабочей среды и в процессе эксплуатации требуют проверки и, при необходимости, регулировки;

– нерегулируемые дроссели предназначены для ограничения расхода;

– обратные клапаны предназначены для пропуска рабочей среды в прямом направлении и перекрытия магистрали при обратном потоке;

– редукторы предназначены для понижения и поддержания постоянным давления рабочей среды в магистрали;

– рассекатели предназначены для сбора сжатого воздуха и для проверки герметичности;

– электропневмоклапаны предназначены для дистанционного и ручного перекрытия магистрали;

– дренажные клапаны, устанавливаемые на стенке герметичного блока ПЩУ, предназначены для поддержания в полости кожуха заданного давления продувки сжатым воздухом;

– штуцеры предназначены для подсоединения к магистралям и установки манометров;

– пневмоцилиндры наддува обеспечивают непрерывную продувку герметичных блоков ПЩУ воздухом для обеспечения пожарозащищённости находящегося там оборудования;

– сигнализаторы (реле) давления предназначены для выдачи электрических сигналов в АСУПП РКН о наличии рабочего давления в магистрали.

При замене существующего пневмоцилиндра на пневмоцилиндр двустороннего действия в существующую схему необходимо добавить блок подачи сжатого воздуха в поршневые полости пневмоцилиндра.

1.4 Работа комплекса пневмооборудования

Работа комплекса пневмооборудования (ПО), изображённого на схемах на рисунках 7,8, 9 и 10 заключается в следующем:

1. По команде руководителя работ до эвакуации персонала в СК расчёт СОСГ в ручном режиме выдаёт сжатый воздух на пневмооборудование.

2. Через 10 минут после доклада расчёта о выдаче сжатого воздуха в АСУ ТО начинается контроль наличия сигнала «Сжатые газы на КУСК РН поданы», формируемого по сумме сигналов с сигнализатора давления РД1 ПЩУ1-ПЩУ6 и РД1 ПЩ1, ПЩ2 изображённых на рисунке 9 и 10.

3. По сумме сигналов с сигнализаторов давления РД1 ПЩУ1-ПЩУ6 формируется сигнал «Давление на ПО подано», который контролируется до формирования сигнала «Готовность ПЩУ». В случае исчезновения сигнала «Давление на ПО подано» из АСУ ТО в АСУПП РКН подаётся сигнал «Неисправность ПО».

4. Требования по пожаробезопасности ПО обеспечивается за счёт наддува ПЩУ воздухом давлением 0,1 МПа. При этом наддув ПЩУ1-ПЩУ3 осуществляется от пневмоцилиндра ПЩ1, ПЩУ4-ПЩУ6 – от пневмоцилиндра ПЩ2.

5. После включения наддува от СОГС на ПЩ1 и ПЩ2 АСУ ТО начинает контроль сигнала «Давление на ПЩ наддува подано», формируемого по сумме сигналов с сигнализаторов РД1 ПЩ1 и ПЩ2. Наличие сигнала «Давление на ПЩ наддува подано» контролируется до начала контроля сигнала «Наддув ПЩУ включён».

6. Сигнализаторы РД2 ПЩ1 и ПЩ2 выдают сигналы о наличии сжатого воздуха давлением 0,1 МПа на выходе ПЩ1 и ПЩ2. Эти сигналы принимаются АСУ ТО и используются для поиска неисправностей.

7. Контроль наличия наддува пневмоцилиндров ПЩ1 – ПЩ6 осуществляется АСУ ТО по сигналу «Наддув ПЩУ включён», формируемому по сумме сигналов

от сигнализаторов РД9 пневмоцистов ПЩУ1 – ПЩУ6 через 5 минут после формирования сигнала «Давление на ПЩ наддува подано». Контроль осуществляется до завершения пуска РКН.

8. В случае исчезновения сигнала из АСУ ТО в АСУПП РКН выдаётся сигнал «Неисправность ПО». Для обнаружения неисправности проводится контроль сигнализаторов, участвующих в формировании сигнала «Давление на ПЩ наддува подано», и сигнализаторов РД2 ПЩ1 и ПЩ2.

9. Функционирование ПЩУ1 – ПЩУ6 начинается за 30 мин до «КП». По команде из АСУПП РКН «Подать рабочее давление на ПО» АСУ ТО в автоматическом режиме выдает команды на открытие ЭПК ЭК1 в ПЩУ1 и через 10 секунд на открытие ЭПК ЭК2. С интервалом в 10 секунд, последовательно выдаются аналогичные команды на ПЩУ2-ПЩУ6.

10. Через 10 секунд после выдачи команды на открытие ЭПК ЭК2 ПЩУ6 в АСУ ТО формируется сигнал «Готовность ПЩУ», при условии наличия сигналов с сигнализаторов РД2 и отсутствии сигналов с сигнализаторов РД3 ПЩУ1 – ПЩУ6, или наличия сигналов с сигнализаторов РД4 и отсутствии сигналов с сигнализаторов РД5 ПЩУ1 – ПЩУ6. При срабатывании сигнализатора РД3 (превышение заданного давления сжатого воздуха) в любом из щитов ПЩУ1 – ПЩУ6 в течение более 3 секунд, АСУ ТО снимает команду на открытие ЭПК ЭК1 соответствующего ПЩУ, в результате чего редуктор КР1 отключается и формируется сигнал «Отказ КР1 ПЩУ1-6»). При срабатывании сигнализатора РД5 в любом из щитов ПЩУ1 – ПЩУ6 в течение более 3 секунд, АСУ ТО снимает команду на открытие ЭПК ЭК2 соответствующего ПЩУ, в результате чего редуктор КР2 отключается и формируется сигнал «Отказ КР2 ПЩУ1-6».

11. При отключении одного из редукторов ПЩУ по срабатыванию сигнализаторов РД3 (РД5) соответствующий сигнализатор РД2 (РД4) в данном ПЩУ снимается с дальнейшего контроля. Из АСУ ТО в АСУПП РКН выдаётся сигнал «Неисправность ПО». При отключении обоих редукторов в ПЩУ сигнал

«Готовность ПЩУ» не формируется, а из АСУ ТО в АСУПП РКН должен быть выдан сигнал «Отказ УС БРС».

12. При формировании сигнала «Готовность ПЩУ» АСУ ТО передаёт его в АСУПП РКН, и контроль сигнала осуществляется до «КП» по описанному выше алгоритму. В случае исчезновения сигнала «Готовность ПЩУ» во время с «КП» минус 8 с и до времени формирования «КП» отвод БРС осуществляется за счёт средств ПЩУ1 – ПЩУ6, обеспечивающих на время отвода сохранение рабочего давления сжатого воздуха в пневмоприводах УС-1 и УС-2.

13. В момент времени «КП» минус 10 мин по команде из АСУПП РКН в АСУ ТО «Подать давление в ПЩ УС» АСУ ТО автоматически выдаёт одновременно команды на открытие ЭПК ЭК3, ЭК4 в ПЩУ1, и далее поочерёдно через 5 секунд команды на открытие ЭПК ЭК3, ЭК4 ПЩУ1 – ПЩУ6, тем самым выдавая сжатый воздух в пневмопривода УС-1 и УС-2.

14. Через 180 секунд после выдачи команды на открытие ЭПК ЭК3 и ЭК4 ПЩУ6 АСУ ТО формирует сигнал «Давление в ПЩ УС подано» как комплексный для ПЩУ1 – ПЩУ6, по сумме сигналов двух из трёх сигнализаторов РД6, РД7 и РД8 каждого ПЩУ, и выдаёт его в АСУПП РКН. С момента формирования сигнала «Давление в ПЩ УС подано» АСУ ТО начинает контроль наличия указанного сигнала до времени «КП». При исчезновении указанного сигнала на время более 2 секунды из АСУ ТО в АСУПП РКН должен быть подан сигнал «Отказ УС БРС».

15. По завершении пуска РКН АСУ ТО обеспечивает дренаж сжатого воздуха с пневмоприводов УС-1 и УС-2 и с пневмощитов через время «КП» плюс 180 секунд автоматически одновременно снимаются команды на открытие ЭПК ЭК1 и ЭК2 ПЩУ1 – ПЩУ6 и через 5 секунд выдаётся команда на открытие ЭПК ЭК5 каждого ПЩУ1 – ПЩУ6.

16. Через 300 секунд АСУ ТО автоматически снимает команды на открытие ЭПК ЭК3, ЭК4, ЭК5 ПЩУ1 – ПЩУ6. В случае отмены пуска по команде АСУПП РКН в АСУ ТО «Снять давление с ПЩ УС» автоматически одновременно снимаются команды на открытие ЭПК ЭК1 и ЭПК ЭК2 ЭПК

ПЩУ1 – ПЩУ6 и через 5 секунд выдаётся команда на открытие ЭПК ЭК5 каждого ПЩУ1 – ПЩУ6. Через 300 секунд АСУ ТО автоматически снимает команды на открытие ЭПК ЭК3, ЭК4, ЭК5 ПЩУ1 – ПЩУ6 и выдаёт в АСУПП РКН сигнал «Давление с ПЩ УС снято».

1.5 Техническое задание на проектирование пневмоцилиндра двустороннего действия

Заданные характеристики пневмоцилиндра:

- длина пневмоцилиндра в отведённом положении равна 1900 мм;
- длина пневмоцилиндра в подведённом положении равна 3600 мм;
- рабочий ход поршня первой ступени пневмоцилиндра равен 500 мм;
- рабочий ход поршня второй ступени пневмоцилиндра равен 1200 мм.

Функциональные характеристики:

- обеспечение автоматического поворота стрел УС-1 и УС-2 на угол $(65 \pm 0,2)^\circ$.

Пневмоцилиндр должен обладать устойчивостью и прочностью при следующих климатических условиях:

- температуры окружающего воздуха от минус 40 °С до плюс 40 °С;
- относительной влажности воздуха при температуре 20 °С до 98 %;
- диапазоне изменения атмосферного давления от 93,3 до 104 кПа (от 700 до 780 мм.рт.ст.);
- атмосферных выпадаемых осадков (дождя, снега, града, снежной крупы, мороси);
- коррозионно-активных агентов для атмосферы типа I по ГОСТ 1515;
- скорости ветра на высоте 10 м от поверхности земли с десяти минутным осреднением: при проведении подготовки комплекса к работе с РКН и при присоединении к БРС до 15 м/с; при пуске РКН до 12 м/с; при стоянке РКН на пусковом столе в процессе подготовки её к пуску (отмены пуска) до 18 м/с; при нахождении комплекса УС в готовности к применению до 20 м/с.

2 РАСЧЁТ ПНЕВМОЦИЛИНДРА ДУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ

2.1 Расчёт усилия на штоке пневмоцилиндра

Усилие на штоке пневмоцилиндра будет определяться из уравнения моментов сил, действующих на стрелу при её повороте относительно некоторой оси Z.

$$M_N \pm M_W - M_{TP} - M_I = 0, \quad (1)$$

где M_N – момент, развиваемый усилием пневмоцилиндра относительно оси стрелы (движущий момент);

M_W – момент ветровой нагрузки, действующей на УС;

M_{TP} – момент от силы трения в шарнирах стрелы;

M_I – момент от сил инерции, возникающих при повороте стрелы.

Момент ветровой нагрузки может иметь различное направление, однако для дальнейших расчётов наибольшее значение будет иметь момент ветровой нагрузки, направленный противоположно моменту усилия пневмоцилиндра, так как при этом усилие на штоке будет максимальным:

$$M_N - M_W - M_{TP} - M_I = 0. \quad (2)$$

По схемам, изображённым на рисунках 11 и 12, определяем зависимости для нахождения моментов M_N и M_W .

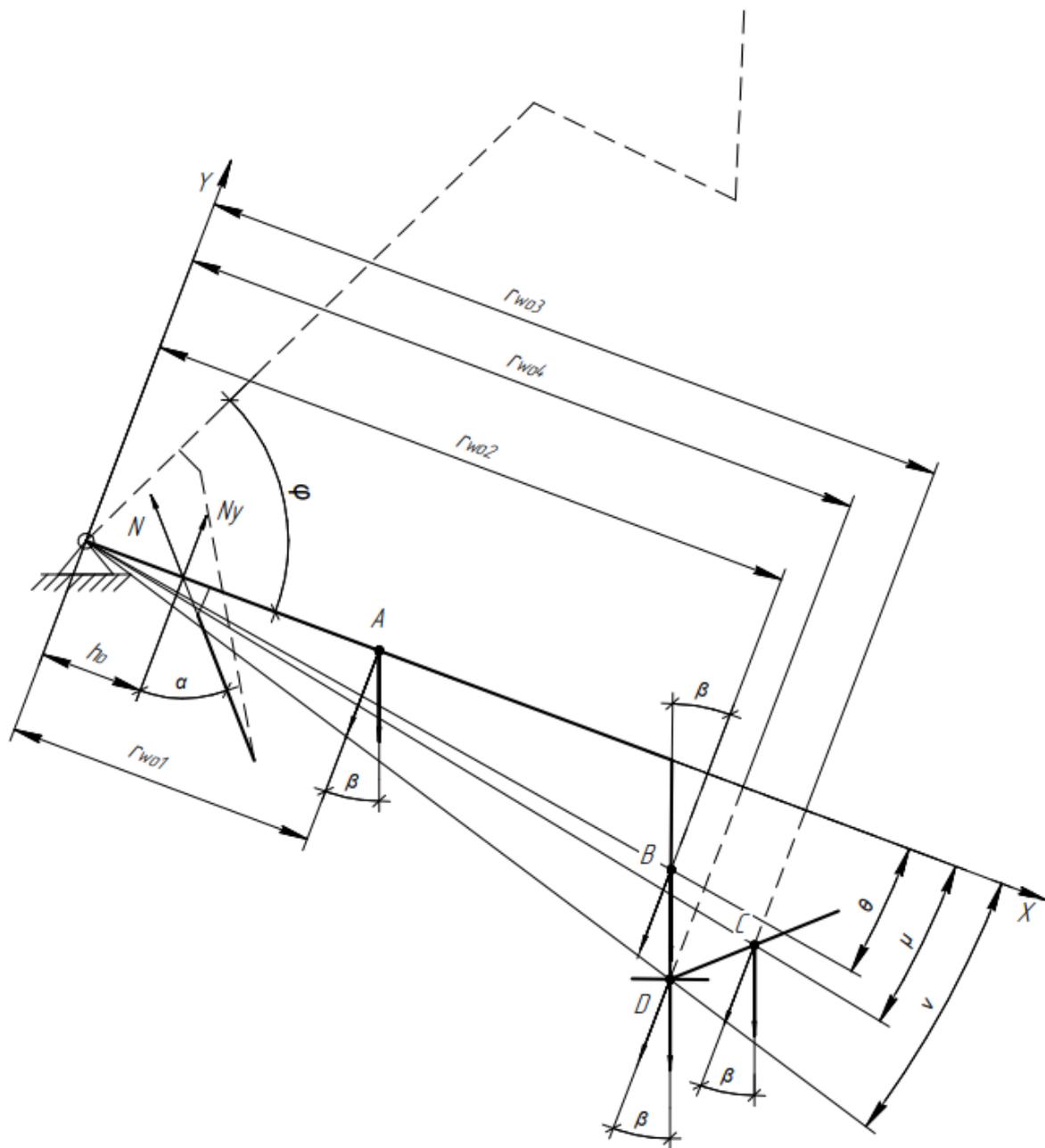


Рисунок 11 – Кинематическая схема для определения момента от ветровой нагрузки в начале подвода

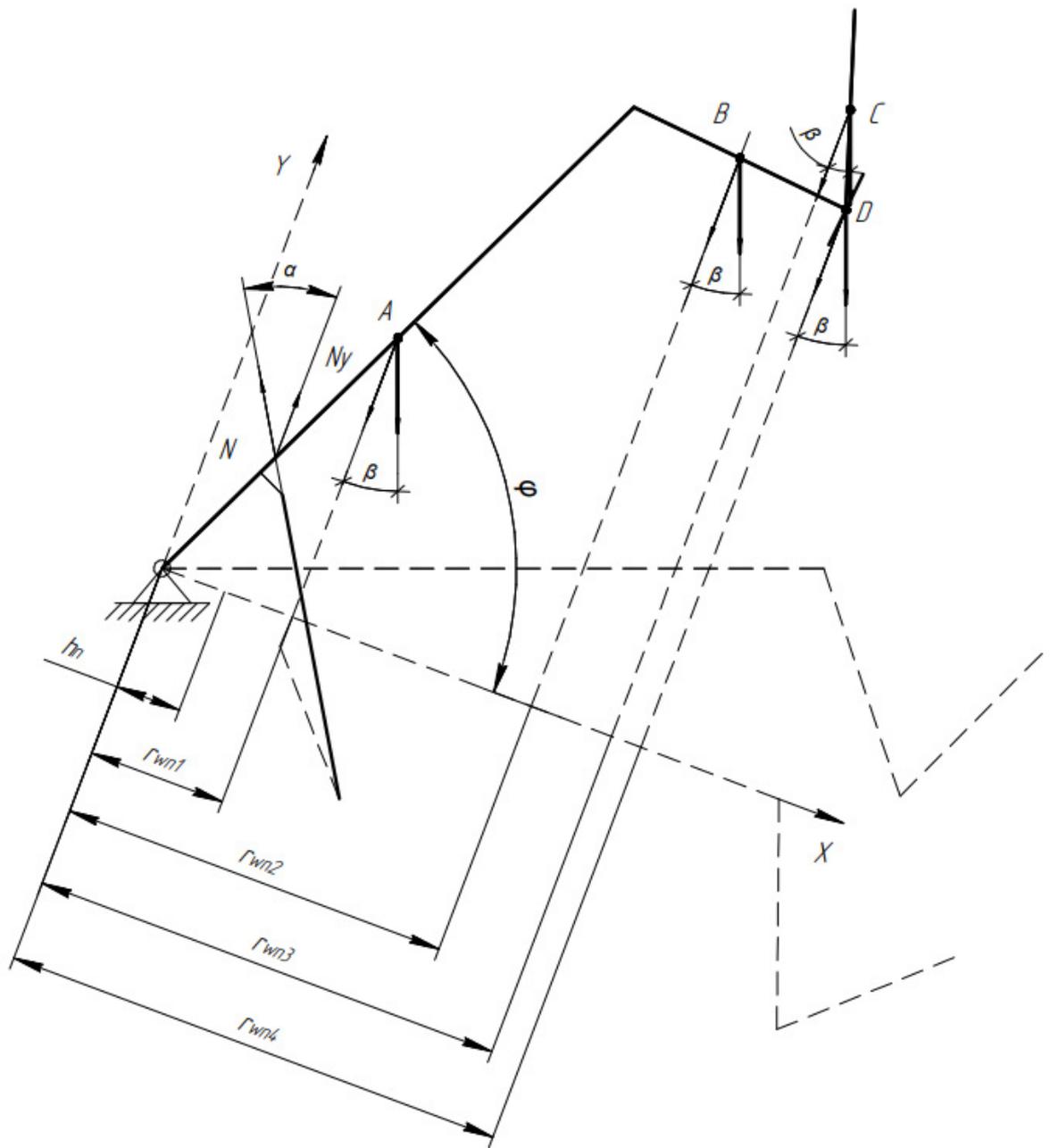


Рисунок 12 – Кинематическая схема для определения момента от ветровой нагрузки в конце подвода

Движущий момент:

$$M_N = N \cdot \cos \alpha \cdot h, \quad (3)$$

где N – усилие на штоке пневмоцилиндра;

h – плечо действия силы N относительно оси поворота стрелы.

Угол α определяется по кинематическим схемам, изображённым на рисунках 11 и 12. Плечо силы N и расстояние от оси поворота стрелы до центра ветрового давления A будут изменяться в зависимости от угла поворота стрелы:

$$h_n = h_o \cdot \cos \varphi, \quad (4)$$

где h_o – плечо действия силы N относительно оси поворота стрелы в отведённом положении;

φ – угол поворота стрелы.

Момент силы трения:

$$M_{TP} = f \cdot F_{TP} \cdot r_{TP}, \quad (5)$$

где $f = 0,01$ – приведенный коэффициент трения для роликового подшипника;

$F_{TP} = 274,6$ кН – суммарная поперечная сила в двух подшипниках;

$r_{TP} = 0,059$ м – плечо действия силы трения.

Подставив значения получим:

$$M_{TP} = 0,01 \cdot 0,059 \cdot 274,6 \cdot 10^6 = 162 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент ветровой нагрузки:

Рассмотрим четыре участка конструкции: стрелу с присоединёнными к ней коммуникациями, механизм отвода, торец системы слежения и систему слежения.

Момент ветровой нагрузки на каждом из рассматриваемых участков будет определяться по формуле:

$$M_{Wi} = W_B \cdot \cos \beta \cdot r_{Wi}, \quad (6)$$

где W_{Bi} – ветровая нагрузка на соответствующем участке;

r_{wi} – расстояние от оси поворота стрелы до центра ветрового давления А, В, С или D, показанных на рисунках 11 и 12.

Угол β определяется по кинематическим схемам, изображённым на рисунках 11 и 12. Расстояние от оси поворота стрелы до центра ветрового давления будет изменяться в зависимости от угла поворота стрелы:

$$r_{wpi} = r_{woi} \cdot \cos \varphi, \quad (7)$$

где r_{wpi} – расстояние от оси поворота УС в подведённом положении до центра ветрового давления А, В, С или D;

r_{woi} – расстояние от оси поворота стрелы в отведённом положении до центра ветрового давления; i – число рассматриваемых участков УС;

φ – угол поворота стрелы.

Следует отметить, что, как видно из схемы, изображённой на рисунке 11, для правильного расчёта плеча ветровой нагрузки, нужно учесть, что отчёт угла φ для всех участков, кроме стрелы, будет начинаться не от начала координат, т.е. плечо ветровой нагрузки на механизм отвода

$$r_{wn2} = r_{wo2} \cdot \cos(\varphi - \theta), \quad (8)$$

на следящую систему

$$r_{wn3} = r_{wo3} \cdot \cos(\varphi - \mu), \quad (9)$$

на торец следящей системы

$$r_{wn4} = r_{wo4} \cdot \cos(\varphi - \varrho). \quad (10)$$

Полная ветровая нагрузка на соответствующий участок расчёта складывается из двух составляющих: статической и динамической:

$$W_{Bi} = W_B^C + W_B^D. \quad (11)$$

Полная ветровая нагрузка определяется по формуле:

$$W_{Bi} = W_{Ci} \cdot k_D, \quad (12)$$

где W_{Ci} – статическая ветровая нагрузка на соответствующий участок УС;
 k_D – коэффициент динамичности.

Под статической ветровой нагрузкой понимается аэродинамическое силовое воздействие на конструкцию, которое вызывается осредненным ветровым потоком:

$$W_{Ci} = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot F_i \cdot c_x \cdot k, \quad (13)$$

где ρ – плотность воздуха при минимальном значении температуры;

v – расчетная скорость ветра;

F_i – расчетная наветренная площадь;

c_x – аэродинамический коэффициент;

k – коэффициент увеличения скоростного напора ветра на высоте.

При температуре воздуха минус 40 °С плотность воздуха $\rho = 1,515$ кг/м³.
Расчётная скорость ветра $v = 20$ м/с, аэродинамический коэффициент принимаем как для плоской пластины, расположенной перпендикулярно направлению ветра: для стрелы и следящей системы $c_x = 1,2$, а для механизма отвода и торца следящей системы $c_x = 1,17$. Коэффициент увеличения скоростного напора ветра на высоте примем равным 1,37.

Наветренную площадь каждого из рассматриваемых участков определяем по схемам, изображённым на рисунках 13, 14, 15 и 16.

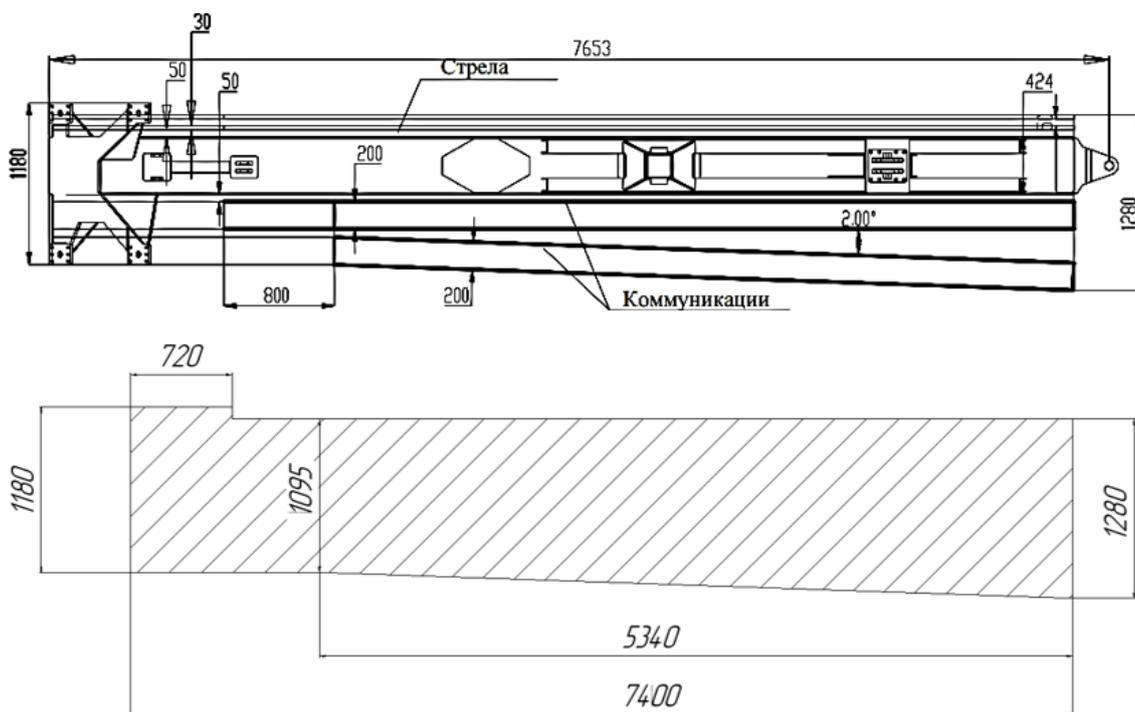


Рисунок 13 – Схема для расчёта наветренной площади стрелы с присоединёнными к ней коммуникациями

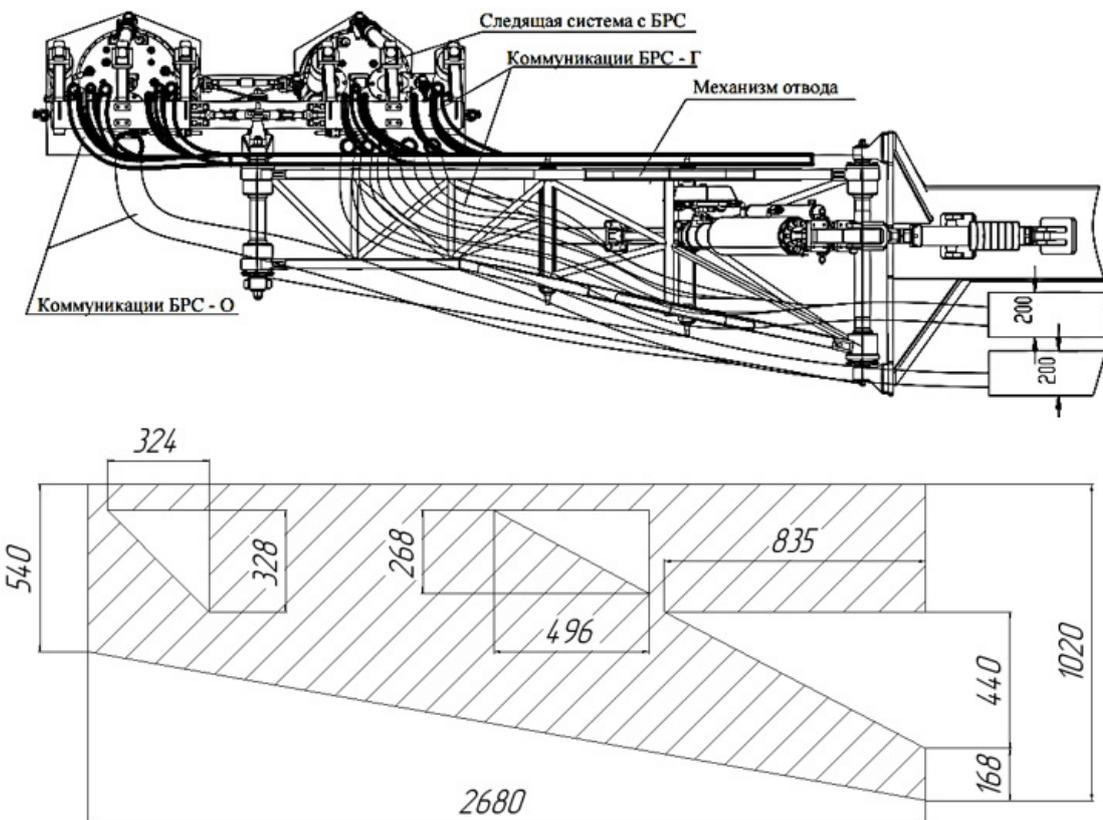


Рисунок 14 – Схема для расчёта наветренной площади механизма отвода с присоединёнными к нему коммуникациями

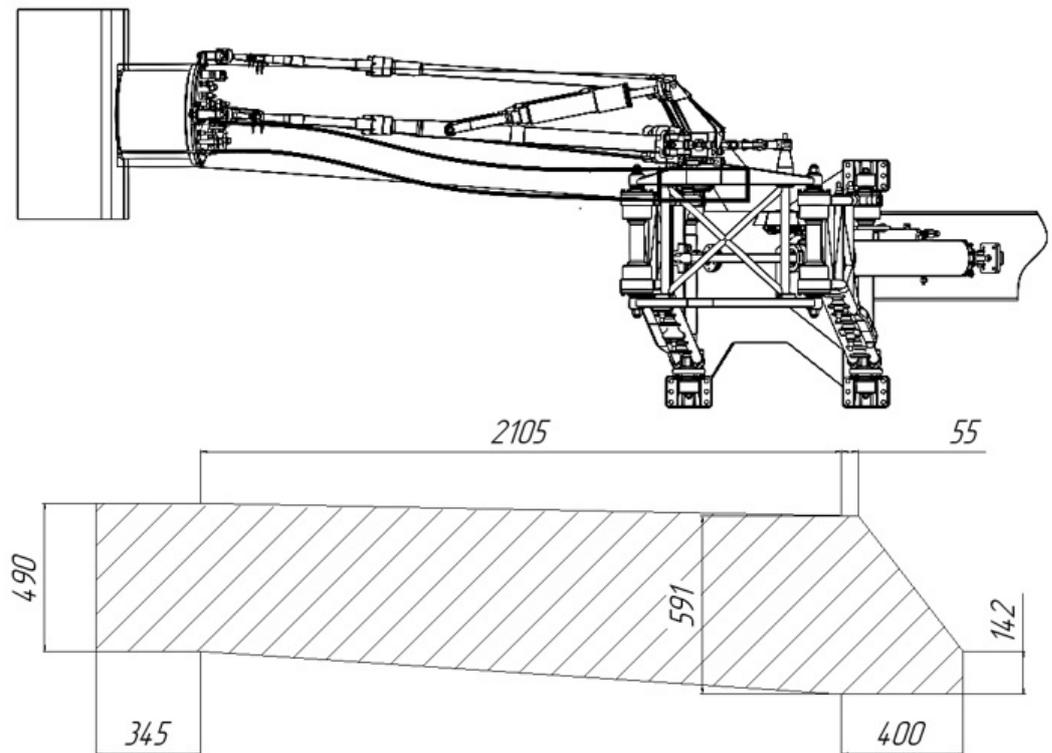


Рисунок 15 – Схема для расчёта наветренной площади следящей системы с присоединёнными к ней коммуникациями

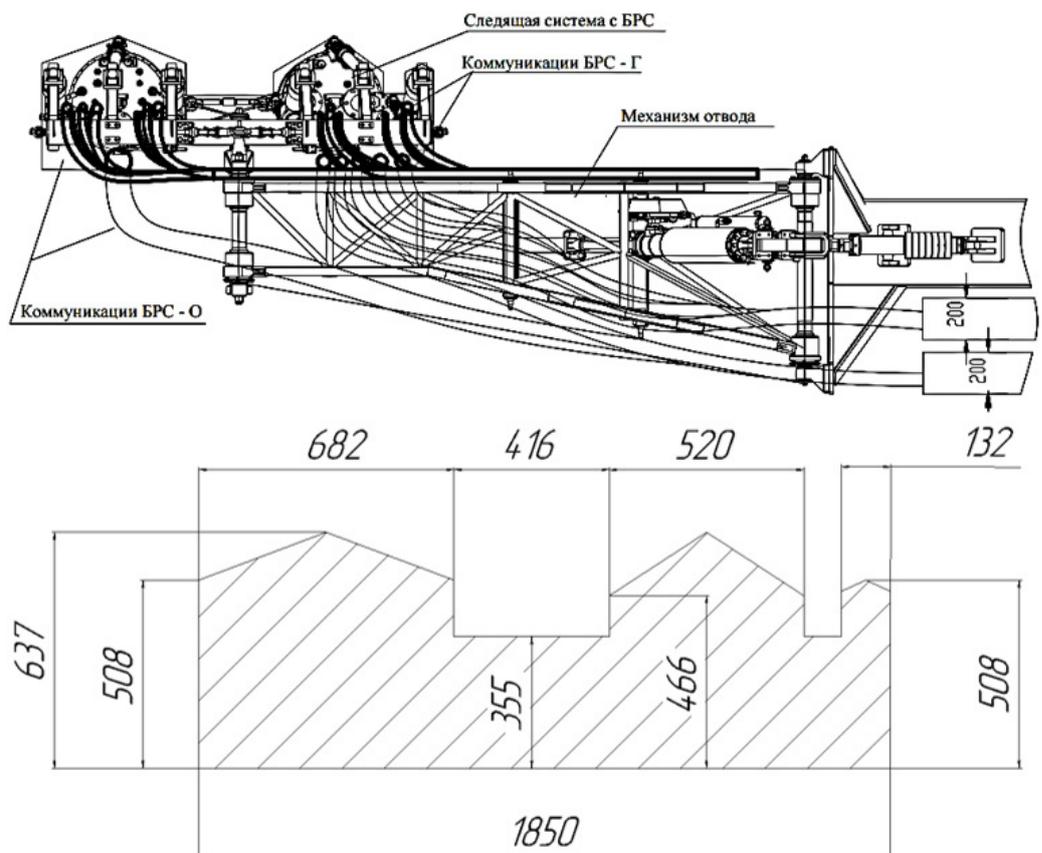


Рисунок 16 – Схема для расчёта наветренной площади торца следящей системы с присоединёнными к нему коммуникациями

Результаты расчёта наветренной площади приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчёта наветренной площади

<i>№ участка УС</i>	<i>Наименование</i>	<i>Площадь, м²</i>
1	стрела с коммуникациями	7,86975
2	механизм отвода	1,78710
3	следающая система	1,46575
4	торец следающей системы	0,92545

Тогда статическая ветровая нагрузка будет равна:

$$W_{c1} = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot F_1 \cdot c_x \cdot k, \quad (14)$$

$$W_{c2} = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot F_2 \cdot c_x \cdot k, \quad (15)$$

$$W_{c3} = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot F_3 \cdot c_x \cdot k, \quad (16)$$

$$W_{c4} = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot F_4 \cdot c_x \cdot k. \quad (17)$$

Подставив значения, получим:

$$W_{c1} = \frac{1,584 \cdot 15^2}{2} \cdot 7,87 \cdot 1,2 \cdot 1,37 = 2205,10 \text{ Н},$$

$$W_{c1} = \frac{1,584 \cdot 15^2}{2} \cdot 7,87 \cdot 1,2 \cdot 1,37 = 2205,10 \text{ Н},$$

$$W_{c3} = \frac{1,584 \cdot 15^2}{2} \cdot 1,47 \cdot 1,2 \cdot 1,37 = 410,70 \text{ Н},$$

$$W_{c4} = \frac{1,584 \cdot 15^2}{2} \cdot 0,93 \cdot 1,17 \cdot 1,37 = 252,83 \text{ Н}.$$

Коэффициент динамичности будет определяться по следующей формуле:

$$k_D = 1 + t_D \cdot H \cdot \sqrt{A^2 + \frac{B^2 \cdot u^2}{\gamma}}, \quad (18)$$

где t_D – число стандартов нормального распределения;

H – пульсационный параметр, зависящий от высоты конструкции и типа местности

A – коэффициент масштаба конструкции;

B – спектральный коэффициент,

u – коэффициент, учитывающий несинхронность,

γ – коэффициент затухания.

Принимаем следующие значения указанных выше параметров: $t_D = 3$,
 $H = 0,32$, $A = 0,95$, $B = 0,17$, $u = 0,32$, $\gamma = 0,01$

Тогда получаем:

$$\beta = 1 + 3 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,95^2 + \frac{0,17^2 \cdot 0,32^2}{0,01}} = 2,05.$$

Полная ветровая нагрузка будет равна:

$$W_{B1} = 2205,10 \cdot 2,05 = 4520,45 \text{ Н},$$

$$W_{B2} = 488,23 \cdot 2,05 = 1000,86 \text{ Н},$$

$$W_{B3} = 410,70 \cdot 2,05 = 841,94 \text{ Н},$$

$$W_{B4} = 252,83 \cdot 2,05 = 518,30 \text{ Н}.$$

Результаты расчёта момента ветровой нагрузки приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта момента ветровой нагрузки

$\varphi, ^\circ$	$r_{\text{вп1}}, \text{ м}$	$r_{\text{вп2}}, \text{ м}$	$r_{\text{вп3}}, \text{ м}$	$r_{\text{вп4}}, \text{ м}$	$M_{W1}, \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_{W2}, \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_{W3}, \text{ Н}\cdot\text{м}$	$M_{W4}, \text{ Н}\cdot\text{м}$
0	3,83	8,03	9,24	8,26	16259,63	7552,73	7310,23	4024,84
5	3,81	8,11	9,36	8,44	16197,82	7628,17	7406,16	4110,02
10	3,77	8,13	9,41	8,55	16012,86	7645,62	7445,78	4163,95
15	3,70	8,09	9,39	8,59	15706,16	7604,93	7428,79	4186,23
20	3,60	7,98	9,30	8,58	15280,04	7506,43	7355,32	4176,68
25	3,47	7,82	9,13	8,49	14737,75	7350,86	7225,93	4135,37
30	3,32	7,59	8,90	8,34	14083,41	7139,39	7041,60	4062,62
35	3,14	7,31	8,60	8,13	13322,00	6873,65	6803,74	3958,99

$\varphi, ^\circ$	$r_{\text{вп1}}, \text{м}$	$r_{\text{вп2}}, \text{м}$	$r_{\text{вп3}}, \text{м}$	$r_{\text{вп4}}, \text{м}$	$M_{W1}, \text{Н}\cdot\text{м}$	$M_{W2}, \text{Н}\cdot\text{м}$	$M_{W3}, \text{Н}\cdot\text{м}$	$M_{W4}, \text{Н}\cdot\text{м}$
40	2,93	6,97	8,23	7,85	12459,30	6555,65	6514,15	3825,26
45	2,71	6,58	7,80	7,52	11501,87	6187,81	6175,03	3662,44
50	2,46	6,14	7,32	7,13	10457,00	5772,92	5788,96	3471,77
55	2,20	5,65	6,77	6,68	9332,62	5314,14	5358,88	3254,72
60	1,92	5,12	6,18	6,19	8137,29	4814,96	4888,05	3012,91
65	1,62	4,55	5,54	5,64	6880,09	4279,17	4380,07	2748,20

На рисунке 17 показан график зависимости момента ветровой нагрузки от угла поворота стрелы φ .

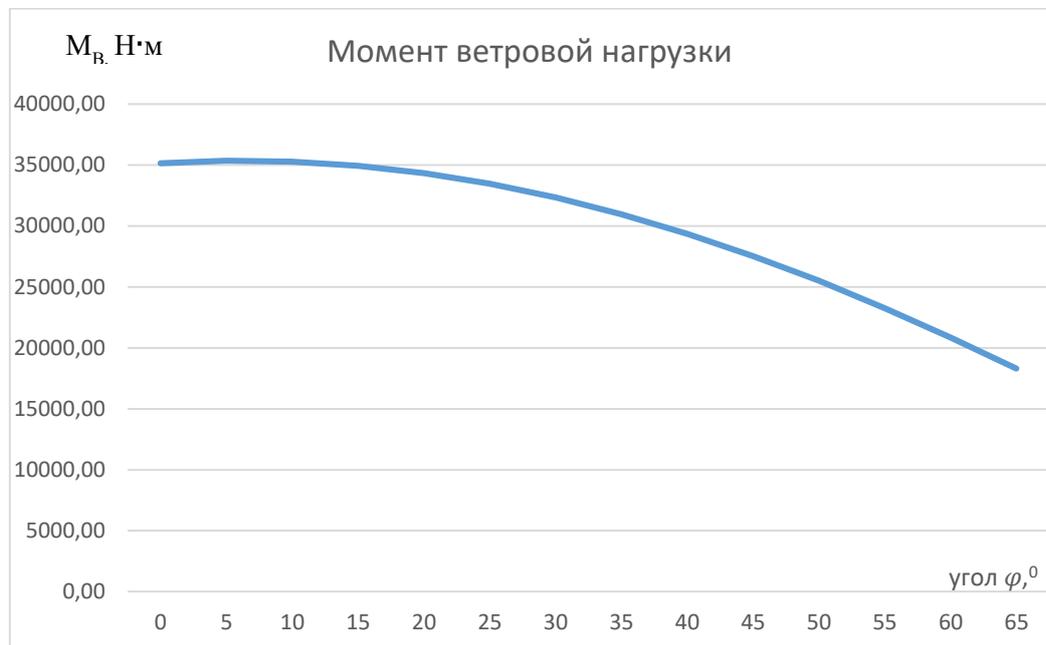


Рисунок 17 – График зависимости момента ветровой нагрузки от угла поворота стрелы φ .

Далее по схеме, изображённой на рисунке 18, определяем моменты инерции при повороте каждого из рассмотренных ранее участков относительно оси, проходящей через шарниры стрелы.

Так как вращение участков УС происходит вокруг оси, перпендикулярной плоскости их движения и не проходящей через их центр масс, то воздействие силы инерции на рассматриваемые участки может быть представлено в виде силы инерции

$$\vec{F}_u = -m \cdot \vec{a}_c, \quad (19)$$

где m – масса участка УС;

\vec{a}_c – - ускорение центра масс участка УС, и пары сил с моментом

$$M_u = -J_c \cdot \varepsilon, \quad (20)$$

где J_c – момент инерции участка УС относительно центра масс,

ε – угловое ускорение УС [9, с. 6].

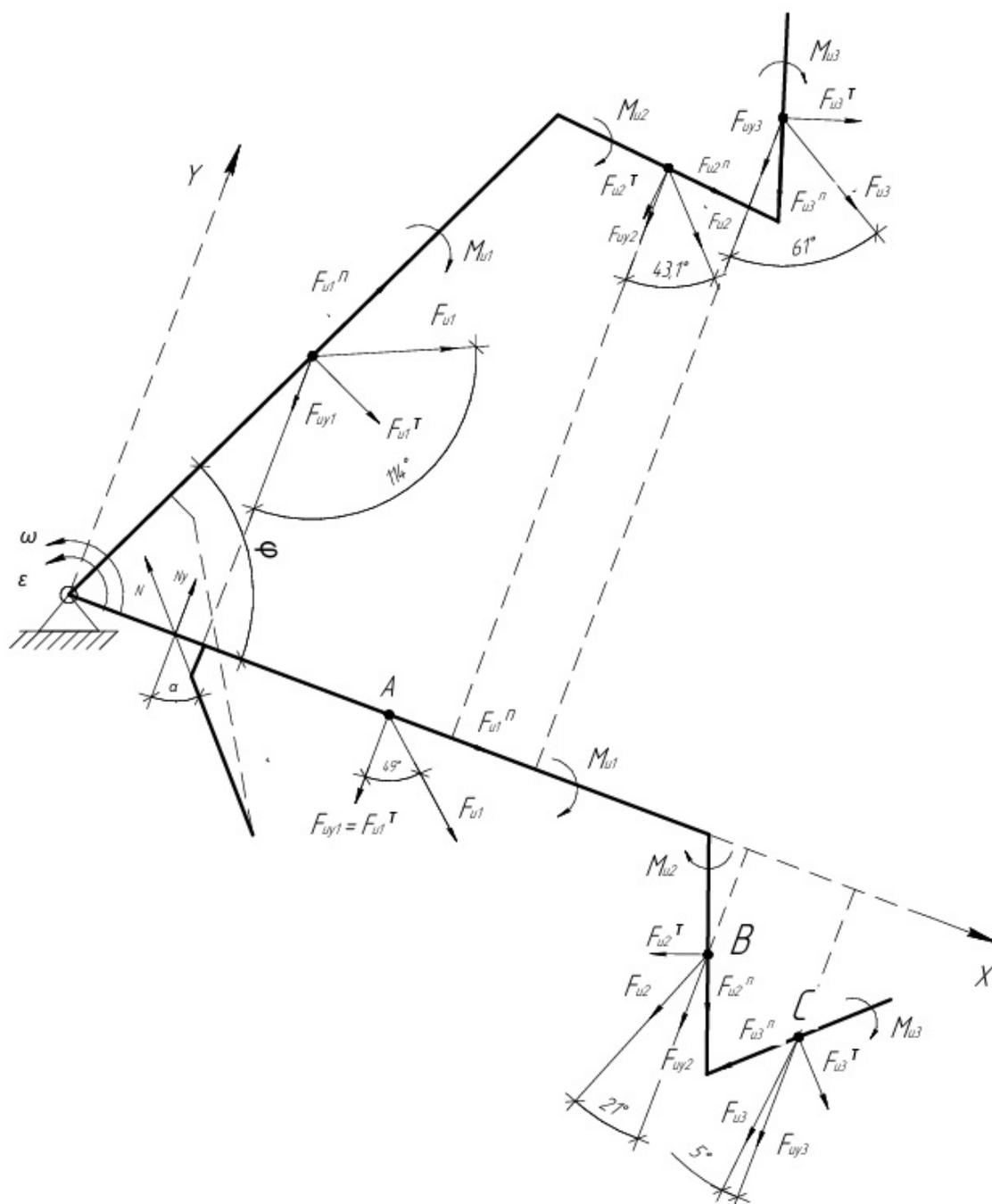


Рисунок 18 – Кинематическая схема для определения момента инерции стрелы

Момент инерции каждого участка относительно центра масс:

$$J_c = m \cdot OX^2, \quad (21)$$

где m – масса участка УС;

OX – расстояние от центра масс участка УС до оси вращения.

Знак минус в обоих выражениях обозначает противоположное направление действия силы и момента ускорению УС.

$$\vec{F}_u = \vec{F}_u^n + \vec{F}_u^\tau = -m \cdot \vec{a}_c^n - m \cdot \vec{a}_c^\tau, \quad (22)$$

где \vec{a}_c^n – нормальное ускорение центра масс участка УС;

\vec{a}_c^τ – тангенциальное ускорение центра масс участка УС.

Нормальное ускорение центра масс участка УС определяется по формуле:

$$a_c^n = \omega^2 \cdot OX \quad (23)$$

где ω – угловая скорость УС.

Тангенциальное ускорение центра масс участка УС определяется по формуле:

$$a_c^\tau = \varepsilon \cdot OX \quad (24)$$

где ε – угловое ускорение УС.

Тогда модуль силы инерции можно вычислить по формуле:

$$F_u = m \cdot OX \cdot \sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}. \quad (25)$$

Угловую скорость и угловое ускорение УС находим по следующим формулам:

$$\omega = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t}, \quad (26)$$

где φ_1 и φ_2 – углы в начале и в конце подвода УС соответственно;
 t – усреднённое время отвода и подвода УС.

$$\varepsilon = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t}, \quad (27)$$

где ω_1 и ω_2 – скорости в начале и в конце подвода УС соответственно.

Подставив числовые значения, получим следующие значения для угловой скорости и углового ускорения УС:

$$\omega = \frac{65^\circ - 0^\circ}{4,19\text{с}} = 0,271 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$\varepsilon = \frac{0,271 - 0}{4,19\text{с}} = 0,065 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

Расчёт моментов и сил инерции проводим для следующих участков: стрелы, механизма отвода и следящей системы. Параметры торца следящей системы учтём при расчёте момента инерции следящей системы.

Массовые характеристики каждого участка УС приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Массовые характеристики участков УС

<i>№ участка УС</i>	<i>Наименование</i>	<i>Масса, кг</i>
1	Стрела	2094
2	Механизм отвода	785
3	Следящая система	526

Подставив численные значения, определим силу инерции для каждого участка:

$$F_{u1} = 2094 \cdot 3,832 \cdot \sqrt{0,271^4 + 0,065^2} = 784,3\text{Н},$$

$$F_{u2} = 785 \cdot 8,130 \cdot \sqrt{0,271^4 + 0,065^2} = 623,7\text{Н},$$

$$F_{u3} = 526 \cdot 9,412 \cdot \sqrt{0,271^4 + 0,065^2} = 483,8\text{Н}.$$

Зависимости для определения моментов от сил инерции для каждого участка находим по схеме на рисунке 16.

Для стрелы УС момент от силы инерции будет равен:

$$M_{uF1} = F_{u1} \cdot \cos(49^{\circ} + 5^{\circ} \cdot n) \cdot r_{un1}, \quad (28)$$

где n – количество расчётных интервалов в 5° ;

r_{un1} – плечо действия силы, которое аналогично плечу для ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$r_{un1} = r_{uo1} \cdot \cos(\varphi), \quad (29)$$

где r_{uo1} – плечо действия силы в отведённом положении стрелы.

Момент от силы инерции для механизма отвода:

$$M_{uF2} = F_{u2} \cdot (\cos 21^{\circ} + 1,7^{\circ} \cdot n) \cdot r_{un2}, \quad (30)$$

где n – количество расчётных интервалов в 5° ;

r_{un2} – плечо действия силы, которое аналогично плечу для ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$r_{un2} = r_{uo2} \cdot \cos(\varphi - \theta), \quad (31)$$

где r_{uo2} – плечо действия силы в отведённом положении стрелы.

Момент от силы инерции для следящей системы:

$$M_{uF3} = F_{u3} \cdot (\cos 5^{\circ} + 4,3^{\circ} \cdot n) \cdot r_{un3}, \quad (32)$$

где n – количество расчётных интервалов в 5^0 ;

r_{un3} – плечо действия силы, которое аналогично плечу для ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$r_{un3} = r_{uo3} \cdot \cos(\varphi - \mu), \quad (33)$$

где r_{uo3} – плечо действия силы в отведённом положении стрелы.

Подставив численные значения, определим моменты инерции от пары сил для каждого участка:

$$M_{и1} = 2094 \cdot 3,832^2 \cdot 0,065 = 1987 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{и2} = 785 \cdot 8,130^2 \cdot 0,065 = 3353 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{и3} = 526 \cdot 9,412^2 \cdot 0,065 = 3011 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Суммарный момент инерции на каждом участке:

$$M_{u\Sigma i} = M_{uFi} + M_{uli}. \quad (34)$$

Суммарный момент инерции будет равен:

$$M_{u\Sigma} = \sum_{i=3} M_{u\Sigma i}. \quad (35)$$

Результаты расчёта моментов инерции приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты расчёта моментов инерции

$\varphi, ^\circ$	$r_{ип1}, \text{м}$	$r_{ип2}, \text{м}$	$r_{ип3}, \text{м}$	$M_{и\Sigma1}, \text{Н}\cdot\text{м}$	$M_{и\Sigma2}, \text{Н}\cdot\text{м}$	$M_{и\Sigma3}, \text{Н}\cdot\text{м}$
0	3,83	8,03	9,24	3959,22	8027,60	7468,29
5	3,82	8,11	9,36	3747,99	8017,73	7524,46
10	3,77	8,13	9,41	3513,31	7967,49	7546,07
15	3,70	8,09	9,39	3262,29	7878,23	7533,01
20	3,60	7,98	9,30	3002,53	7751,73	7485,40
25	3,47	7,82	9,13	2741,91	7590,20	7403,67
30	3,32	7,59	8,90	2488,34	7396,27	7288,49

$\varphi, ^\circ$	$r_{ип1}, \text{м}$	$r_{ип2}, \text{м}$	$r_{ип3}, \text{м}$	$M_{и\Sigma1}, \text{Н}\cdot\text{м}$	$M_{и\Sigma2}, \text{Н}\cdot\text{м}$	$M_{и\Sigma3}, \text{Н}\cdot\text{м}$
35	3,14	7,31	8,60	2249,48	7172,92	7140,80
40	2,94	6,97	8,23	2032,59	6923,42	6961,79
45	2,71	6,58	7,80	1844,23	6651,37	6752,90
50	2,46	6,14	7,32	1690,12	6360,53	6515,78
55	2,20	5,65	6,77	1574,94	6054,89	6252,32
60	1,92	5,12	6,18	1502,16	5738,51	5964,61
65	1,62	4,55	5,54	1474,02	5415,54	5654,92

На рисунке 19 показан график зависимости момента сил инерции от угла поворота стрелы φ .

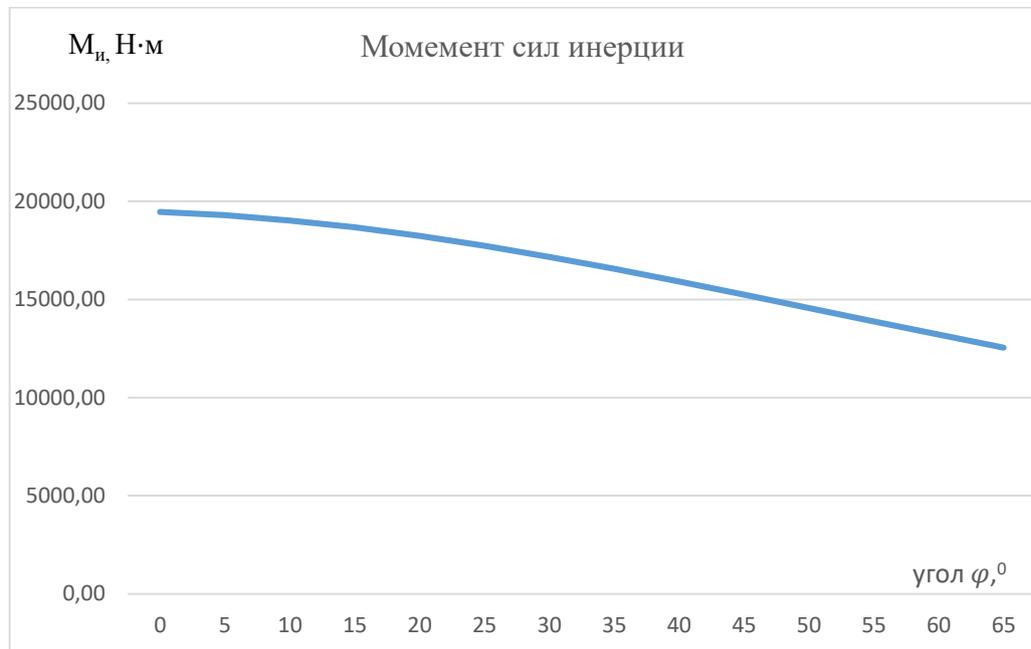


Рисунок 19 – График зависимости момента сил инерции от угла поворота стрелы φ .

Таким образом, уравнение для определения усилия на штоке пневмоцилиндра примет вид:

$$N \cdot \cos \alpha \cdot h = M_{w\Sigma} + M_{и\Sigma} + M_{TP}. \quad (36)$$

Тогда

$$N = \frac{M_{W\Sigma} + M_{H\Sigma} + M_{TP}}{\cos \alpha \cdot h}. \quad (37)$$

Результаты расчётов усилия на штоке пневмоцилиндра от действия ветровой нагрузки и сил инерции при различном угле поворота стрелы приведены в таблице 8:

Таблица 8 – Результаты расчёта

$\varphi, ^\circ$	$h_{п}, м$	$M_{W\Sigma}, Н\cdot м$	$M_{H\Sigma}, Н\cdot м$	$N, Н$
0	1,27	35147,44	19455,11	56274,66
5	1,27	35342,18	19290,18	54576,92
10	1,25	35268,22	19026,88	53141,50
15	1,23	34926,12	18673,53	51951,83
20	1,19	34318,47	18239,66	50999,02
25	1,15	33449,91	17735,79	51499,10
30	1,10	32327,04	17173,10	52122,76
35	1,04	30958,38	16563,20	52906,53
40	0,97	29354,35	15917,80	53901,23
45	0,90	27527,14	15248,49	55179,71
50	0,82	25490,65	14566,43	56850,58
55	0,73	23260,35	13882,15	59083,66
60	0,64	20853,21	13205,29	62160,77
65	0,54	18287,53	12544,48	66587,59

На рисунке 20 показан график зависимости нагрузки на штоке пневмоцилиндра от угла поворота стрелы φ .

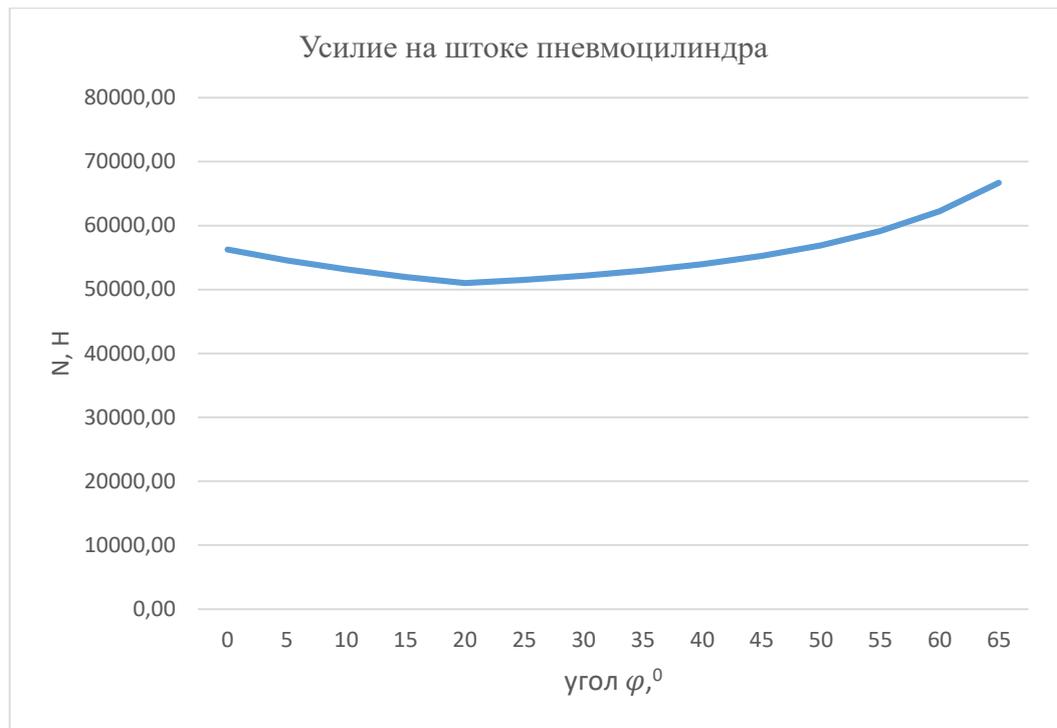


Рисунок 20 – График зависимости нагрузки на штоке пневмоцилиндра от угла поворота стрелы φ .

В качестве расчётного усилия на штоке пневмоцилиндра принимаем наибольшее из полученных результатов, т.е. $N = 66\,587,59$ Н.

2.2 Определение основных параметров пневмоцилиндра

Рабочим ходом пневмоцилиндра называется разность его длины в конечном l_K и начальном l_H положении, т.е.

$$L = l_K - l_H. \quad (38)$$

Рабочий ход пневмоцилиндра принимается известным и равным:

$$L = 3,6 - 1,9 = 1,7 \text{ м.}$$

Число ступеней пневмоцилиндра определяем по формуле:

$$i = j + 1, \quad (39)$$

где j - кратность хода пневмоцилиндра, определяемая как отношение рабочего хода L пневмоцилиндра к его изначальной длине l_H .

Подставив значения, получим:

$$j = \frac{1,7}{1,9} \approx 1.$$

Тогда число ступеней пневмоцилиндра будет равно:

$$i = 0,9 + 1 = 1,9.$$

Принимаем $i = 2$, т.е. пневмоцилиндр – телескопический.

Рабочий ход каждой ступени пневмоцилиндра согласно техническому заданию следующий:

- ход первой ступени пневмоцилиндра $L_1 = 500$ мм;
- ход второй ступени пневмоцилиндра $L_2 = 1200$ мм.

Главным расчётным соотношением для определения основных геометрических параметров ступеней пневмоцилиндра является равенство нагрузки, действующей на шток пневмоцилиндра, и силы давления воздуха в его полостях:

$$N = p_i \cdot F_i \cdot \eta, \tag{40}$$

где p_i – рабочее давление ступени пневмопривода;

F_i – рабочая площадь;

η – КПД пневмоцилиндра (принимаем равным 0,97) [10].

Расчётная площадь для поршневой полости первой ступени будет равна:

$$F_{1n} = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}, \tag{41}$$

где D_1 – диаметр поршня первой ступени.

Расчётная площадь для штоковой полости первой ступени будет равна:

$$F_{1uu} = \frac{\pi \cdot (D_1^2 - d_1^2)}{4}, \quad (42)$$

где d_1 – диаметр штока первой ступени.

Подставив (41) и (42) в (40), получим уравнение для нахождения диаметров штока и поршня первой ступени пневмопривода:

$$N = p_1 \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot \eta, \quad (43)$$

$$N = p_1 \cdot \frac{\pi \cdot (D_1^2 - d_1^2)}{4} \cdot \eta, \quad (44)$$

где p_1 – рабочее давление первой ступени пневмоцилиндра, равное 8 МПа.

Отсюда получаем:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot N}{p_1 \cdot \pi \cdot \eta}}. \quad (45)$$

$$d_1 = \sqrt{D_1^2 - \frac{4 \cdot N}{p_1 \cdot \pi \cdot \eta}}. \quad (46)$$

Подставив значения, получим:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 66587,59}{8 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 0,97}} = 0,105 \text{ м.}$$

Округляем получившееся значение до ближайшего большего значения из ряда предпочтительных чисел по ГОСТ 6636-69. Окончательно принимаем $D_1 = 110$ мм (Ra20).

$$d_1 = \sqrt{0,11^2 - \frac{4 \cdot 66587,59}{8 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 0,97}} = 0,034 \text{ м}$$

По [4] принимаем $d_1 = 40$ мм (Ra5).

Далее проводим проверку штока на устойчивость и прочность [5].

Допустимая нагрузка продольного изгиба P_* при определённом диаметре и длине штока определяется в зависимости от способа установки и крепления штока силового пневмоцилиндра к опоре.

Допустимая нагрузка продольного изгиба определяется по формуле:

$$P_K = \frac{2,05 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{S_K^2}, \quad (47)$$

где E – модуль упругости, кгс/см², I – момент инерции, см⁴, длина продольного изгиба, см.

Момент инерции:

$$I = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64}. \quad (48)$$

Подставив значения, получим:

$$P_K = \frac{2,05 \cdot 3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 4^4}{50^2 \cdot 64} = 13327,9 \text{ кгс.}$$

Максимально допустимая нагрузка на шток первой ступени пневмоцилиндра:

$$P_{\max} = \frac{P_K}{n}, \quad (49)$$

где n – запас прочности, равный 3.

Подставив числовые значения получим:

$$P_{max} = \frac{13327,9}{3} = 4442,64 \text{ кгс} = 43567,42 \text{ Н}.$$

Полученное значение допустимой нагрузки меньше нагрузки, действующей на шток пневмоцилиндра, поэтому принимаем значение диаметра штока первой ступени равным $d_1 = 50 \text{ мм}$. Тогда, получаем:

$$P_K = \frac{2,05 \cdot 3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 5^2}{50^2 \cdot 64} = 20824,9 \text{ кгс},$$

$$P_{max} = \frac{20824,9}{3} = 6941,62 \text{ кгс} = 68074,04 \text{ Н},$$

$$68074,04 \text{ Н} > 66699,35 \text{ Н}.$$

Следовательно, условие устойчивости выполняется.

Условие прочности штока первой ступени:

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot N}{\pi \cdot [\sigma]}}, \quad (50)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение при сжатии, МПа.

Получаем:

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 66587,59}{3,14 \cdot 160 \cdot 10^6}} = 0,023 \text{ м}$$

Следовательно, условие прочности выполняется.

Определим толщину стенки гильзы первой ступени:

$$\delta = \frac{p_1 \cdot n \cdot D_1}{2 \cdot [\sigma]}, \quad (51)$$

где n – запас прочности;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение, кгс/см².

Подставив числовые значения, получим:

$$\delta = \frac{81,577 \cdot 3 \cdot 110}{2 \cdot 1631,51} = 8,25 \text{ мм.}$$

Принимаем $\delta = 10$ мм.

Толщина днища цилиндра первой ступени определяется по формуле:

$$\delta_1 = 0,433 \cdot D_1 \cdot \sqrt{\frac{P_1}{[\sigma]}}. \quad (52)$$

Подставив числовые значения, получим:

$$\delta_1 = 0,433 \cdot 110 \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot 10^6}{160 \cdot 10^6}} = 10,65 \text{ мм.}$$

Принимаем $\delta_1 = 12$ мм.

Диаметр отверстия в штоке для подачи воздуха в полости цилиндра:

$$d_{отв} = 0,13 \cdot d_1. \quad (53)$$

Подставив числовые значения, получим:

$$d_{отв} = 0,13 \cdot 50 = 6,5 \text{ мм.}$$

Принимаем $d_{отв} = 12$ мм.

Аналогично выполняем расчёт параметров второй ступени пневмоцилиндра.

Расчётная площадь для поршневой полости второй ступени будет равна:

$$F_{2n} = \frac{\pi \cdot D_2^2}{2}, \quad (54)$$

где D_2 – диаметр поршня второй ступени.

Подставив (54) в (40), получим уравнение для нахождения диаметра поршня второй ступени пневмопривода:

$$N = p_2 \cdot \frac{\pi \cdot D_2^2}{2} \cdot \eta, \quad (55)$$

где p_2 – рабочее давление первой ступени пневмоцилиндра, равное 5 МПа.

Отсюда получаем:

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot N}{p_2 \cdot \pi \cdot \eta}}. \quad (56)$$

Подставив значения, получим:

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 66587,59}{5 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 0,97}} = 0,132 \text{ м.}$$

Округляем получившееся значение до ближайшего большего значения из ряда предпочтительных чисел по ГОСТ 6636-69. Окончательно принимаем $D_2 = 160$ мм (Ra5).

Диаметр штока второй ступени будет складываться из диаметра поршня и толщины стенки гильзы первой ступени, т.е.:

$$d_2 = D_1 + 2 \cdot \delta. \quad (57)$$

Подставив значения, получим:

$$d_2 = 110 + 2 \cdot 10 = 130 \text{ мм.}$$

Проводим проверку штока на устойчивость и прочность.

Допустимая нагрузка продольного изгиба:

$$P_K = \frac{2,05 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{S_K^2}, \quad (58)$$

где E – модуль упругости, кгс/см²;

I – момент инерции, см⁴;

S_k – длина продольного изгиба, см.

Момент инерции:

$$I = \frac{\pi \cdot d_2^2}{64}. \quad (59)$$

Подставив значения, получим:

$$P_K = \frac{2,05 \cdot 3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 13^2}{120^2 \cdot 64} = 24440,3 \text{ кгс.}$$

Максимально допустимая нагрузка на шток первой ступени пневмоцилиндра:

$$P_{\max} = \frac{P_K}{n}, \quad (60)$$

где n – запас прочности, равный 3.

Подставив числовые значения получим:

$$P_{\max} = \frac{24440,3}{3} = 8146,8 \text{ кгс} = 79892,8 \text{ Н.}$$

Таким образом, условие устойчивости для штока второй ступени пневмоцилиндра выполняется.

Условие прочности штока второй ступени:

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot N}{\pi \cdot [\sigma]}}, \quad (61)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение при сжатии, МПа.

Получаем:

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 66587,59}{3,14 \cdot 160 \cdot 10^6}} = 0,023 \text{ м.}$$

Следовательно, условие прочности выполняется.

Определим толщину стенки гильзы второй ступени:

$$\delta = \frac{p_2 \cdot n \cdot D_2}{2 \cdot [\sigma]}, \quad (62)$$

где n – запас прочности;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение, кгс/см².

Подставив числовые значения, получим:

$$\delta = \frac{50,99 \cdot 3 \cdot 160}{2 \cdot 1631,51} = 7,5 \text{ мм.}$$

Принимаем $\delta = 14$ мм.

Толщина днища цилиндра второй ступени определяется по формуле:

$$\delta_1 = 0,433 \cdot D_2 \cdot \sqrt{\frac{p_2}{[\sigma]}}. \quad (63)$$

Подставив числовые значения, получим:

$$\delta_1 = 0,433 \cdot 160 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot 10^6}{160 \cdot 10^6}} = 12,24 \text{ мм.}$$

Принимаем $\delta_1 = 20$ мм.

Диаметр отверстия в цилиндре для подачи воздуха в полость цилиндра второй ступени вычисляем аналогично первой ступени и принимаем равным $d_{\text{отв}} = 10$ мм. Результаты расчётов сведём в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты расчёта геометрических параметров

Параметр	I ступень	II ступень
D	110	160
d	50	130

Продолжение таблицы 9

<i>Параметр</i>	<i>I ступень</i>	<i>II ступень</i>
δ	10	14
δ_1	12	20
$d_{\text{отв}}$	12	10

3 РАСЧЁТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОЦИЛИНДРА И МОДЕРНИЗАЦИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

3.1 Конструктивные требования к пневмоцилиндрам

Общие конструктивные требования к пневмоцилиндрам устанавливаются соответствующими стандартами и техническими условиями, часть из них — общемашиностроительные, остальные обусловлены особенностями пневмоцилиндров [1].

В пневмоцилиндрах в качестве рабочей среды выступает воздух под давлением, что накладывает на пневматические изделия высокие требования к герметичности. В таких изделиях не допускаются утечки рабочего газа через резьбовые, сварные и другие неподвижные соединения, и стенки деталей. Утечки рабочего тела через подвижные соединения уменьшают применением уплотнений.

Помимо этого, к пневмоцилиндрам предъявляют повышенные требования к прочности: они должны выдерживать давление в 1,5 номинального давления.

К материалам пневмоцилиндров предъявляют требование по устойчивости к коррозии от воздействия рабочего газа. Т.е. детали пневмоцилиндров, подверженные коррозии, должны изготавливаться из конструкционных материалов, стойких к воздействию рабочих сред, или иметь защитные покрытия. Если деталь пневмоцилиндра относится к высокоточным, то её изготавливают из коррозионностойких материалов, не требующих покрытий, к таким можно отнести сталь 12Х18Н9Т.

К конструктивным требованиям также относят:

- ограничения массы пневмоцилиндра;
- рациональный выбор габаритных, установочных и присоединительных размеров изделий;
- взаимозаменяемость изделий и их составных частей.

3.2 Проектирование телескопического пневмоцилиндра двустороннего действия

В качестве основных проектируемых узлов рассмотрим следующие элементы ступеней пневмоцилиндра:

- 1) соединение днища с цилиндром;
- 2) поршень со штоком;
- 3) направляющую штока;
- 4) демпферное устройство и другие способы безударного торможения поршня.

3.2.1 Соединение днища с цилиндром В конструкциях пневмоцилиндров применяют следующие типы соединений днища с цилиндром: на винтах или болтах; на наружной или внутренней резьбе; на наружных или внутренних полукольцах; днище выполняется глухим или приварным; на стяжных шпильках [6].

В таблице 10 приведены достоинства и недостатки каждого вышеописанного способа.

Таблица 10 – Способы соединения днища с цилиндром

<i>Способ соединения</i>	<i>Достоинства</i>	<i>Недостатки</i>
На винтах	Простота и надёжность конструкции, возможность свободно разобрать и собрать конструкцию снова при необходимости, невысокая стоимость винтов	Такой способ соединения требует наличия у торца цилиндра фланца, который получают путём отливки цилиндра, приварки или использованием толстостенной заготовки с последующей обточкой средней части цилиндра по наружному диаметру. Недостатками литого цилиндра являются повышенный вес и риск возникновения раковин и пористости. Недостатком обточки цилиндра из толстостенной трубы является большое число металлической стружки.
На наружной резьбе	Простота и надёжность конструкции, возможность фиксации в затянутом положении, удобство сборки и разборки	Необходимость обработки цилиндра по наружному диаметру; усложнено ориентирование штуцеров; центрирование днища по двум поверхностям; при наворачивании днища возможно закручивание уплотнительного кольца [6, с. 29 - 31].

<i>Способ соединения</i>	<i>Достоинства</i>	<i>Недостатки</i>
На внутренней резьбе	Простота и надёжность конструкции, возможность фиксации в затянутом положении, удобство сборки и разборки, при навинчивании днища отсутствует опасность скручивания уплотнительного кольца.	Усложнено ориентирование штуцеров; центрирование головки по двум поверхностям.
На наружных полукольцах	Уменьшение габаритов пневмоцилиндра	Необходимость обработки трубы по наружному диаметру, проточка канавки под полукольца ослабляет сечение гильзы и влечёт за собой увеличение её толщины [6, с. 31].
На внутренних полукольцах		При сборке необходимо прогонять днище далеко вглубь цилиндра, и при этом уплотнительное кольцо прогоняется мимо подводящего отверстия, которое своей кромкой может его повредить [6, с. 33].
Днище глухое	Отсутствует необходимость в каких – либо соединениях	Цилиндр изготавливается литьём или точением из заготовки, однако при этом в стружку отходит более 80% металла. Кроме того глухое днище не технологично.
Днище приварное	Простота и технологичность	Сложность обработки глухого отверстия.
На стяжных шпильках	Простота и технологичность изготовления и сборки, минимальное число операций по обработке цилиндра, возможность использования в качестве заготовки тонкостенной трубы без обработки по наружному диаметру, отсутствие приварных деталей, простота ориентировки штуцеров [6, с. 36].	Рабочее давление в пневмоцилиндре деформирует гильзу и увеличивает зазор между уплотнительным кольцом и гильзой, создавая опасность выдавливания кольца в зазор.

Проанализировав достоинства и недостатки различных способов соединения днища с цилиндром, для проектируемого пневмоцилиндра в качестве способа соединения днища с цилиндром первой ступени по

конструктивным соображениям выбираем соединение на внутренней резьбе, а для второй ступени – соединение на винтах.

Возможные конструктивные решения соединения днища с цилиндром на винтах показаны на рисунке 21.

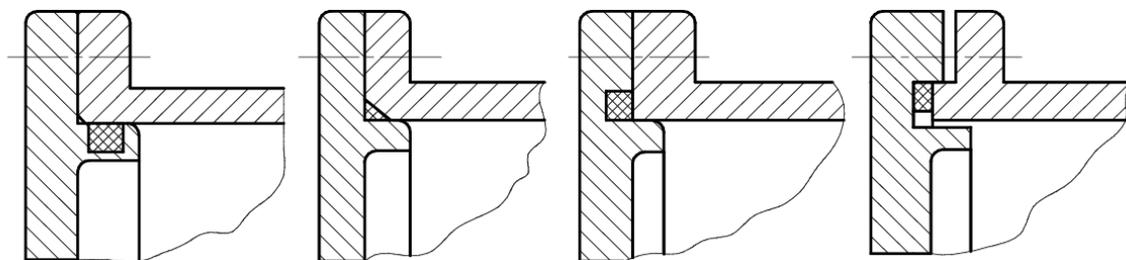


Рисунок 21 – Соединение днища с цилиндром на винтах

Требуемый диаметр соединительных винтов определим по формуле:

$$d_v = D_{пц} \cdot \sqrt{\frac{N}{1,2 \cdot n \cdot [\sigma]}}, \quad (64)$$

где $D_{пц}$ – диаметр пневмоцилиндра;

n – число винтов.

Подставив числовые значения, получим:

$$d_v = 188 \cdot \sqrt{\frac{66587,59}{1,2 \cdot 8 \cdot 115 \cdot 10^6}} = 1,46 \text{ мм.}$$

Принимаем $d_v = 8$ мм.

В проектируемом пневмоциindre в качестве уплотнений соединения днища с цилиндром применяются O-образные кольца круглого сечения. Данный тип уплотнений получили широкое распространение из-за малых габаритов и простоты конструкции.

Принцип действия колец заключается в следующем: при отсутствии рабочего давления герметичность создаётся путём контактного давления при сжатии кольца. Под давлением газа площадь контакта увеличивается. Для защиты

круглых колец от выдавливания в зазор применяют защитные кольца с одной из сторон кольца.

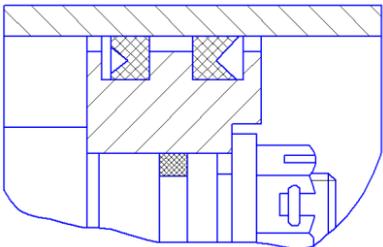
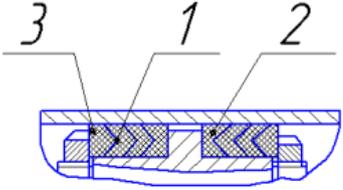
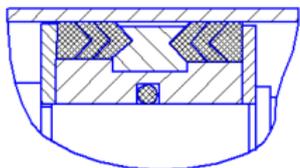
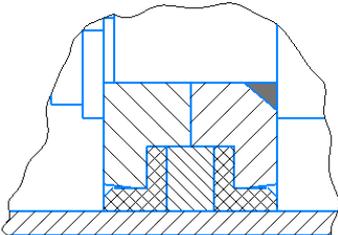
3.2.2 Поршень со штоком

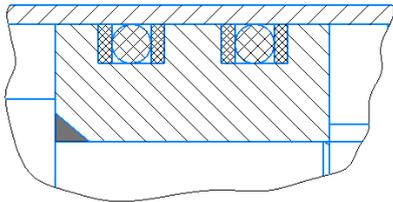
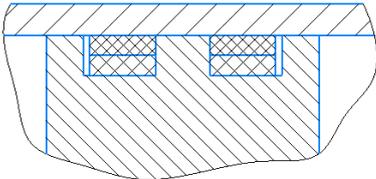
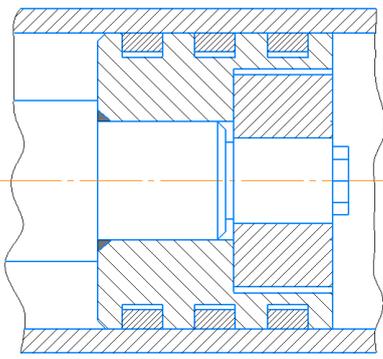
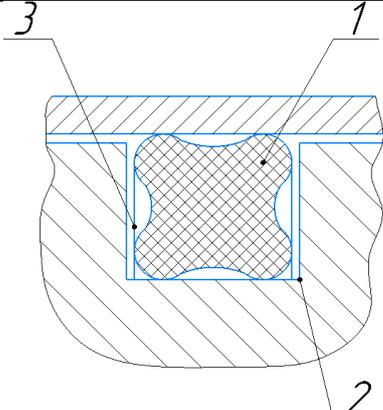
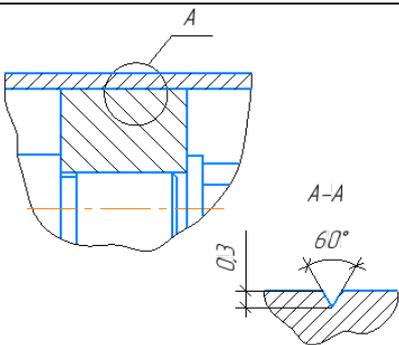
Основными критериями выбора конструктивного решения узла поршня со штоком, являются: тип уплотнения поршня с цилиндром, способ крепления поршня к штоку и конструкция поршня.

Существуют следующие виды уплотнений поршня с цилиндром: манжетные уплотнения, шевронные уплотнения, чашечные уплотнения, кольца круглого сечения, кольца прямоугольного сечения, поршневые кольца, фасонные уплотнения, уплотнения шлифовкой.

В таблице 11 приведена краткая характеристика каждого вида уплотнений.

Таблица 11 – Виды уплотнений поршня с гильзой

<i>Вид уплотнения</i>	<i>Пример конструкции</i>	<i>Характеристика</i>
Манжетные уплотнения		Представляет собой уплотнение контактного типа, в качестве основного элемента которого выступает эластичная манжета, установленная на поршне. Различают конструктивные решения, в которых манжета имеет или не имеет возможности свободного снятия и натягивания на поршень.
Шевронные уплотнения		Шевронное уплотнение состоит из: набора шевронных манжет 1, изготавливаемых из специальной ткани, двухсторонне прорезиненной графитной резиновой смесью, опорного кольца 2 и нажимного кольца 3 [6, с. 54].
		На данном рисунке роль шевронных колец выполняет поршень в виде кольца из антифрикционного материала. Недостаток: громоздкость и большая сила трения.
Чашечные уплотнения		Применяется при давлении до 10 кгс/см ² . Изготавливаются из резины, прорезиненной ткани, кожи и фторопласта [6, с. 55].

Вид уплотнения	Пример конструкции	Характеристика
Уплотнение круглыми кольцами		<p>Из-за простоты, надёжности и малых габаритов конструкции получили широкое распространение в машиностроении.</p>
Уплотнение кольцами прямоугольного сечения		<p>Данное уплотнение в отличие от уплотнений круглого сечения из-за большого риска выдавливания в зазор и закручивания требует дополнительных проставок.</p>
Поршневые кольца		<p>Простое и долговечное конструктивное решение. Данный тип уплотнений может работать в широком диапазоне температур, имеют малый коэффициент трения и являются достаточно герметичными при давлении до 300 кгс/см². Недостатками данного вида является повышенные утечки рабочего газа, сложная технология изготовления, высокие требования к геометрии внутренней поверхности цилиндра.</p>
Фасонные уплотнения		<p>Данный тип уплотнений представляет собой X-образное кольцо. На рисунке показаны: 1 – кольцо, 2 – канавка, 3 – вогнутые поверхности. К таким уплотнениям предъявляют следующие требования: закругления кромок кольца должны быть образованы не более чем половиной окружности [6, с. 64]; радиусы частей окружности, образующих вогнутые поверхности, должны быть равны 0,3 от ширины кольца [6, с. 64].</p>
Уплотнение шлифовкой		<p>Представляет собой способ уплотнения с помощью малых зазоров между трущимися поверхностями. Их применяют в пневмоцилиндрах, в которых имеется возможность компенсировать утечки рабочего газа, а давление самого газа не превышает 50 кгс/см².</p>

Для проектируемого пневмоцилиндра в качестве уплотнений между поршнем и цилиндром будем использовать резиновые кольца круглого сечения, т.к. они просты в сборке и изготовлении, а также имеют малые габариты.

Крепление поршня к штоку бывает двух типов: резьбовое соединение и соединение без использования резьбы.

В первом случае поршень надевается на шток, который имеет резьбовое окончание. Затем на эту резьбу наворачивается гайка, закрепляющая поршень. Несмотря на простоту данного способа крепления, он имеет и некоторые ограничения по использованию: не рекомендуется применять его при больших рабочих давлениях или больших нагрузках, так как, если диаметр штока недостаточно большой, то это может привести к перегрузке резьбы штока. Также из-за повышенных вибрационных нагрузок на шток дополнительные требования по надёжности накладываются и на гайки, закрепляющие шток.

Безрезьбовое соединение позволяет избежать вышеуказанных проблем. На рисунке 22 показан пример такого соединения.

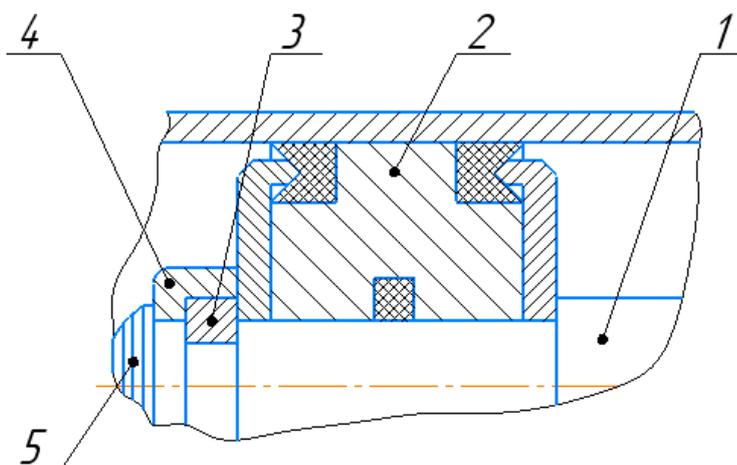


Рисунок 22 – Безрезьбовое соединение поршня со штоком

Сборка такого соединения происходит следующим образом: поршень 2 надевается на шток 1, затем в проточку штока вставляются два полукольца 3, а на них крепится кольцо 4, стопорящееся пружинным кольцом 5.

Так как режим работы проектируемого пневмоцилиндра подходит под указанные выше требования по использованию резьбовых соединений, то в

проектируемом цилиндре предлагается использовать соединение резьбовое, т.е. поршень на штоке будет закрепляется при помощи гайки.

3.2.3 Направляющая штока

Основными критериями выбора конструктивного решения узла направляющей штока, являются: вид уплотнения штока и способ крепления передней крышки к цилиндру.

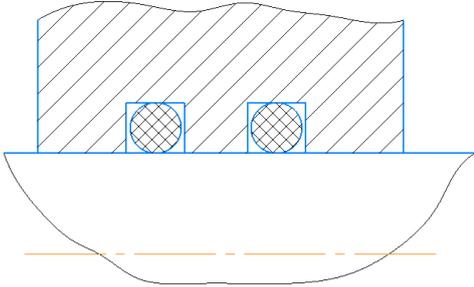
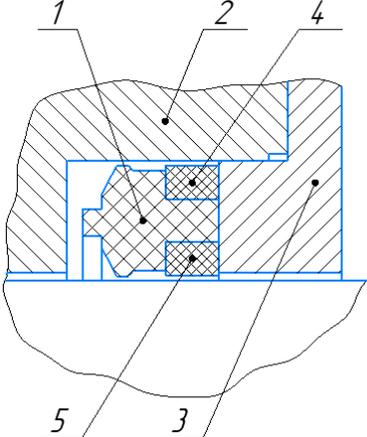
Различают манжетные, шевронные, воротниковые и фасонные уплотнения штока, а также уплотнения штока кольцами круглого и прямоугольного сечения.

В качестве направляющей используют: днище пневмоцилиндра, втулку, запрессованную в днище или наплавленную направляющую и съёмную втулку.

Выберем тип уплотнения штока для проектируемого пневмоцилиндра. В таблице 12 приведена краткая характеристика каждого типа уплотнений.

Таблица 12 – Типы уплотнений штока

<i>Вид уплотнения</i>	<i>Пример конструкции</i>	<i>Характеристика</i>
Манжетные уплотнения		В качестве основного элемента уплотнения выступает эластичная манжета, установленная на штоке. Данный тип уплотнений является наиболее надёжным и универсальным.
Шевронные уплотнения		Основным элементом данного типа уплотнений является набор шевронных манжет, которые изготавливаются из прорезиненной ткани.
Воротниковые уплотнения		Данный тип уплотнений изготавливают из резины, прорезиненной ткани и фторопласта.

<i>Вид уплотнения</i>	<i>Пример конструкции</i>	<i>Характеристика</i>
Уплотнение кольцами круглого сечения		Преимуществом уплотнений круглыми кольцами является простота, надёжность и малые габариты конструкции.
Фасонные уплотнения		Узел с фасонным уплотнением, изображённый на схеме, включает в себя шток 2 и крышку 3, а также резиновое кольцо 1 Т-образного поперечного сечения и двух колец 4 и 5, изготавливаемых из кожи, капрона или фторопласта.

Рассмотрев предложенные варианты, для уплотнения штока выбираем резиновые кольца круглого сечения, а в качестве направляющих штока первой и второй ступеней пневмоцилиндра будем использовать съёмные втулки из антифрикционного материала.

3.2.4 Демпферное устройство и другие способы безударного торможения поршня

Существуют различные способы безударного торможения поршня: при помощи ряда отверстий, применением двойного поршня, уменьшением давления на входе в пневмоцилиндр, а также при помощи различных внешних устройств (к таким устройствам можно отнести применяемые в исходном пневмоприводе гидротормозы).

Рассмотрим каждый способ демпфирования подробнее.

Торможение при помощи ряда отверстий, показанное на рисунке 23, предполагает наличие в стенке цилиндра специальных отверстий, которые перекрываются поршнем по мере его движения, создавая тем самым ступенчатое

увеличение сопротивления потоку. Данный способ торможения требует расчёта закона движения поршня, получаемого при определённом расположении отверстий. В проектируемом пневмоцилиндре данный способ не может быть применён по конструктивным особенностям проектируемого пневмоцилиндра.

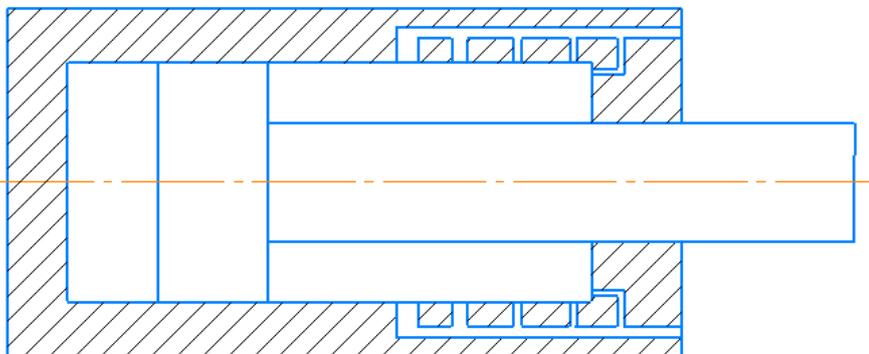


Рисунок 23 – Торможение при помощи ряда отверстий

Торможение применением двойного поршня показано на рисунке 24. Двойной поршень состоит из плавающего поршня 1 и штока 2 с двумя бортиками. При подаче воздуха в полость а или б поршень 1 перемещается до соприкосновения с бортиками в или г. После этого шток 2 начинает двигаться под полным давлением до того момента, пока поршень 1 не упрётся во втулку 3. После этого движение продолжает только шток 2. Таким образом, из-за уменьшения силы, действующей на поршень, происходит его торможение. Данный способ также не может быть применён в проектируемом пневмоцилиндре по его конструктивным особенностям.

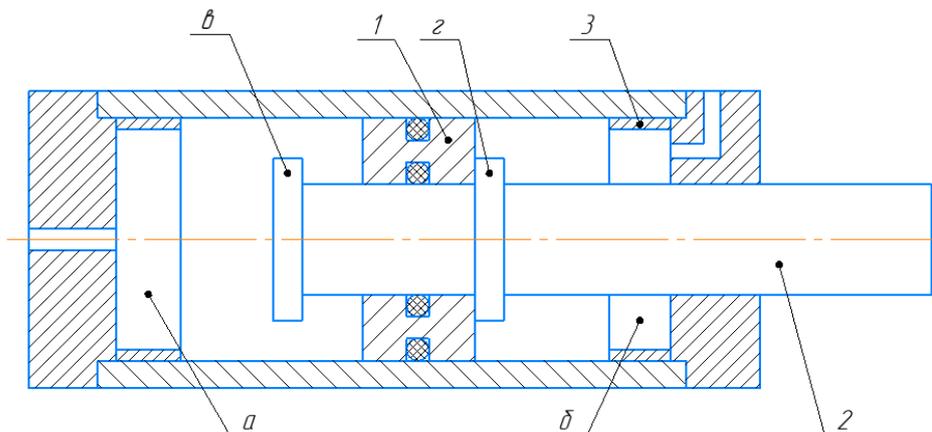


Рисунок 24 – Торможение при помощи ряда отверстий

Торможение при помощи различных внешних устройств показано на рисунке 25. В проектируемом пневмоприводе гидротормозы применяются для торможения поршня второй ступени пневмоцилиндра при отводе УС. Для остановки поршня при подводе УС они применяться не могут, так как не имеют возможности работы в обоих направлениях движения поршня. Применить ещё одну пару гидротормозов так же невозможно по габаритным характеристикам самих гидротормозов и пневмопривода в целом и так как это приведёт к утяжелению всей конструкции.

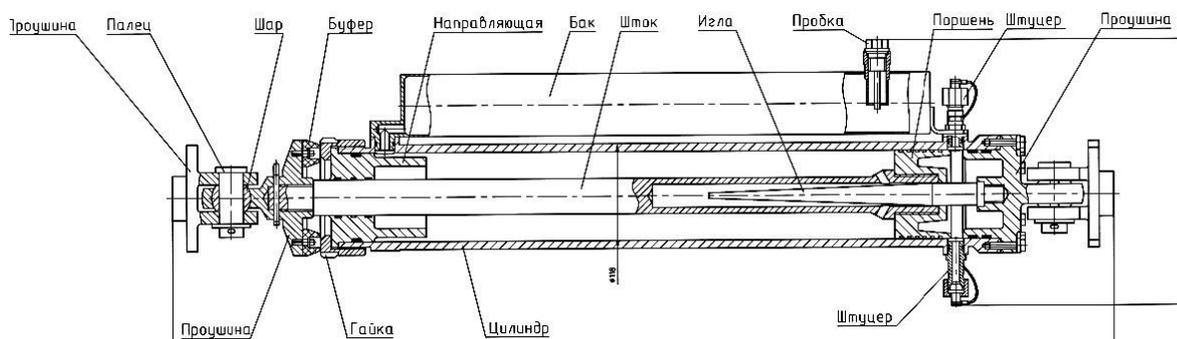


Рисунок 25 – Гидротормоз

Торможение уменьшением давления на входе в пневмоцилиндр основано на том, что разгон, торможение и равномерное движение поршня в пневмоциindre требует наличия различного давления воздуха в пневмоциindre, т.е. при изменении величины подаваемого в поршневую полость давления можно регулировать скорость движения поршня. Этот способ позволяет получить необходимый результат без каких-либо серьёзных изменений в конструкции самого пневмоциндра. Единственным недостатком данного метода является усложнение пневмосхемы из-за добавления в неё клапанов для удаления избыточного давления из поршневой полости.

Определим рабочие давления газа при разгоне, торможении и равномерном движении поршня второй ступени пневмоциндра. Для расчёта примем следующие исходные данные: перемещаемая масса $G = 6450$ кг, общее расстояние перемещения $S = 1,2$ м, общее время перемещения $t = 4$ секунды, путь

во время разгона $S_y = 0,045$ м, путь во время торможения $S_T = 0,07$ м, путь при равномерном движении $S_p = 1,085$ м, коэффициент трения $= 0,15$.

В период разгона поршня возникающая сила определяется по формуле:

$$P_y = \frac{G \cdot v_{cp}^2}{2 \cdot g \cdot S_y} + G \cdot f, \quad (64)$$

где v_{cp} – средняя скорость движения поршня.

В период торможения поршня возникающая сила определяется по формуле:

$$P_T = \frac{G \cdot v_{cp}^2}{2 \cdot g \cdot S_T} - G \cdot f. \quad (65)$$

В период равномерного движения поршня возникающая сила определяется по формуле:

$$P_p = G \cdot f. \quad (66)$$

Общее время для перемещения устройства стыковки на определённое расстояние равно:

$$t = t_1 + t_2 + t_3, \quad (67)$$

где t_1 – время разгона:

$$t_1 = \frac{2 \cdot S_y}{v_{cp}}, \quad (68)$$

t_2 – время торможения:

$$t_2 = \frac{2 \cdot S_T}{v_{cp}}, \quad (69)$$

t_3 – время равномерного движения:

$$t_3 = \frac{2 \cdot S_P}{v_{cp}}. \quad (70)$$

Средняя скорость движения поршня:

$$v_{cp} = 1,25 \cdot \frac{S}{t}. \quad (71)$$

Тогда давление, необходимое для разгона:

$$p_y = \frac{P_y}{F}, \quad (72)$$

где F – площадь поршня второй ступени пневмоцилиндра.

Давление, необходимое для равномерного перемещения поршня:

$$p_P = \frac{P_P}{F}. \quad (73)$$

Давление, необходимое для торможения:

$$p_T = \frac{P_T}{F - F_1}, \quad (74)$$

где F_1 – площадь штока второй ступени пневмоцилиндра.

Результаты расчёта приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты расчёта

<i>Расчитываемая величина</i>	<i>Значение</i>
Средняя скорость движения поршня, м/с	0,375
Время разгона, с	0,24
Время торможения, с	0,373
Время равномерного движения, с	2,893
Общее время движения поршня, с	3,507
Усилие, необходимое для разгона, кгс	1 995
Усилие, необходимое для равномерного движения, кгс	967,5
Усилие, необходимое для торможения, кгс	-307,072
Давление, необходимое для разгона, кгс/м ²	99 270
Давление, необходимое для равномерного движения, кгс/м ²	48 140
Давление, необходимое для торможения, кгс/м ²	- 23 150

Отрицательное значение силы P_T показывает, что при торможении поршня усилие приложено к поршню по ходу его движения.

Регулировку давления будем осуществлять путём последовательного открытия электроклапанов для сброса давления из поршневой полости второй ступени пневмоцилиндра.

3.3 Модернизация пневматической схемы пневмопривода стрелы УС

Для обеспечения не только автоматического отвода, но и подвода стрелы УС к бакам III ступени РН необходимо модернизировать существующую пневматическую схему.

На рисунке 25 и 26 представлены модернизированные схемы подключения УС-1 и УС-2 соответственно.

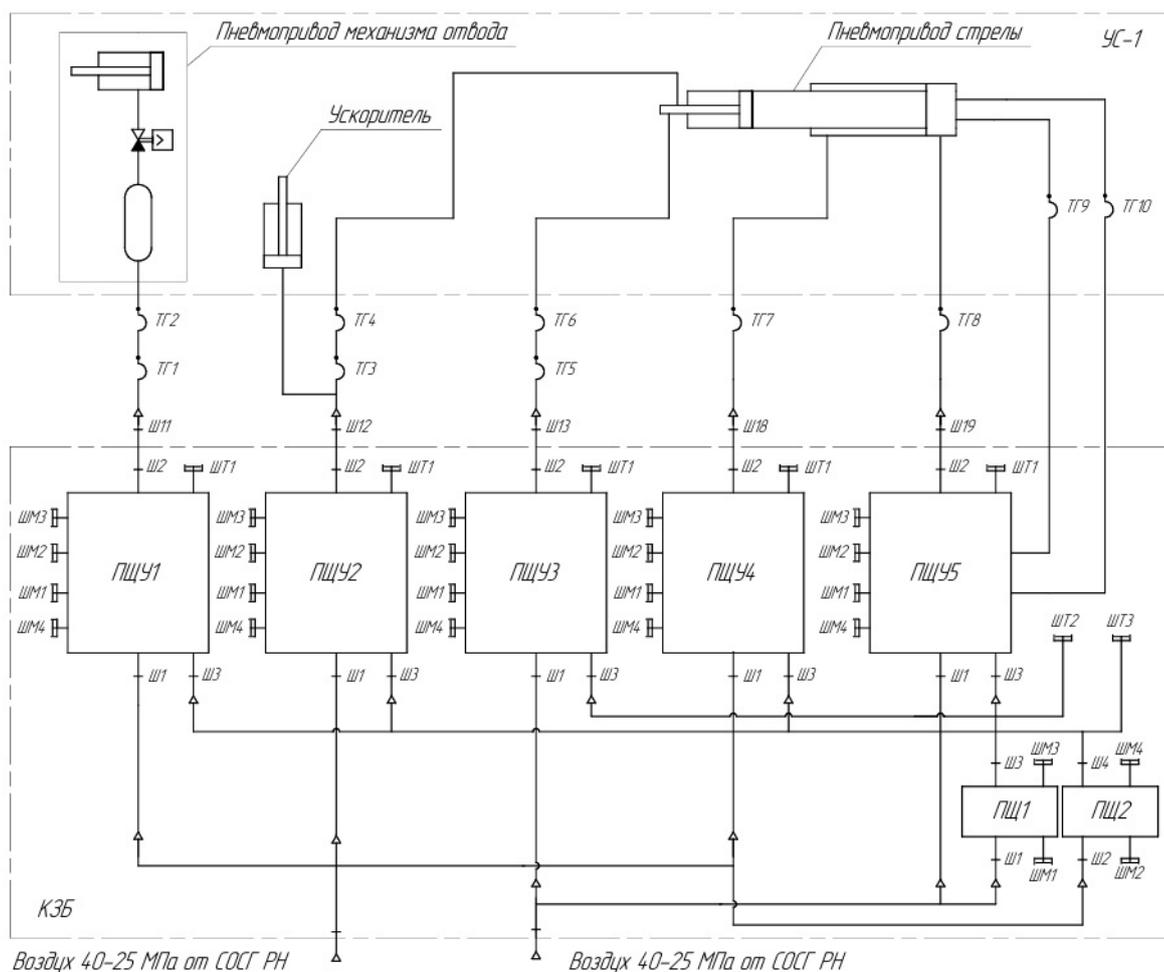


Рисунок 25– Модернизированная пневматическая схема подключения UC-1

В таблице 14 приведён перечень пневмоэлементов, входящих в модернизированные пневматические схемы подключения, показанные на рисунках 25 и 26.

Таблица 14 – Элементы пневматической схемы подключения

Обозначение	Наименование
ПЩУ1-ПЩУ10	Пневмоцит управления
ПЩ1- ПЩ4	Пневмоцит наддува
ТГ1-ТГ18	Трубопровод гибкий
Ш1-Ш3, Ш11-Ш13, Ш18-Ш24, ШТ1-ШТ5	Штуцер
ШМ1-ШМ4	Штуцер манометровый

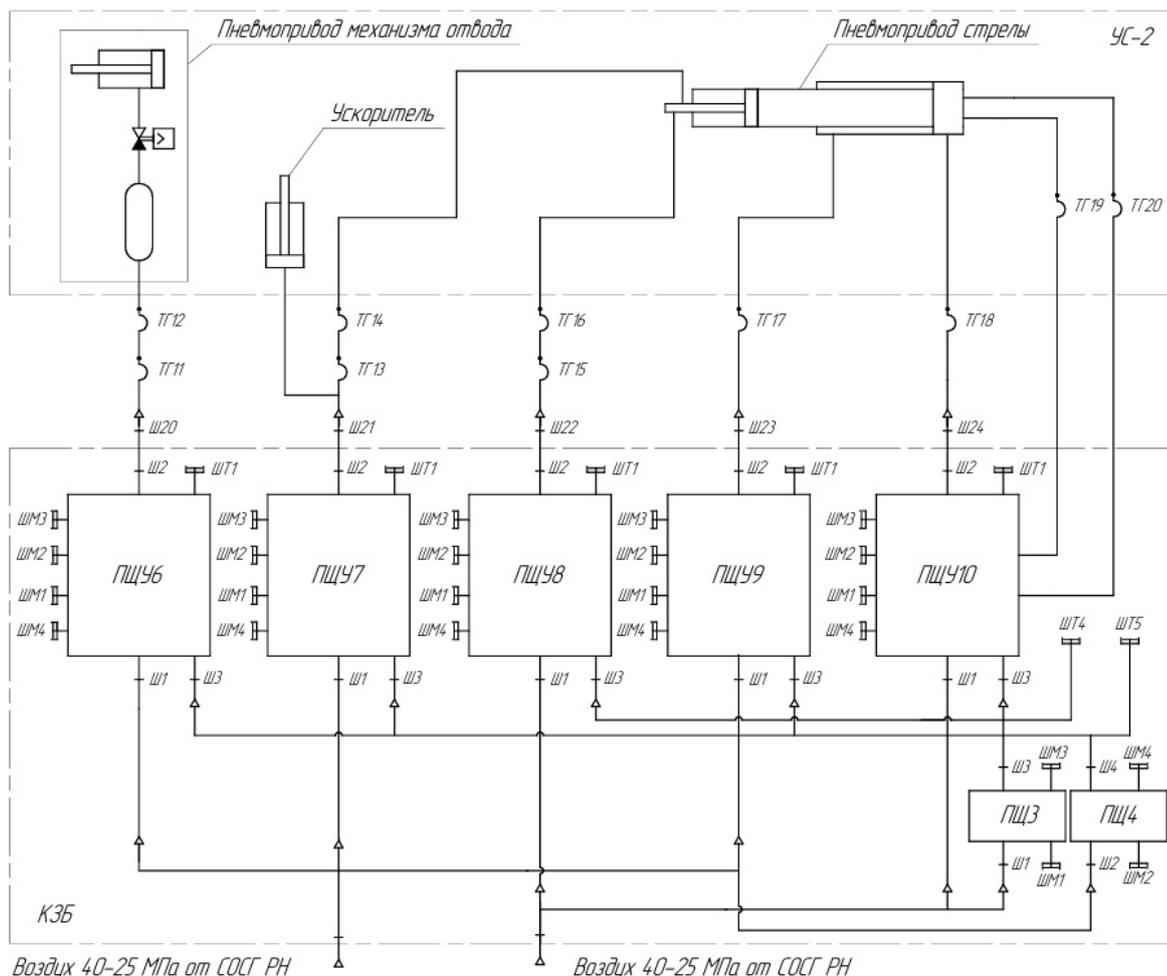


Рисунок 26– Модернизированная пневматическая схема подключения УС-2

Для автоматического подвода и отвода стрел УС к бакам 3-й ступени РН в существующую схему добавлена ещё одна линия подачи воздуха от СОГС к пневмошитам управления, которые обеспечивают подачу воздуха в поршневые полости первой и второй ступеней пневмоцилиндра, а также ещё один ПЩ для наддува воздухом добавленных ПЩУ3 и ПЩУ5 УС-1 и ПЩУ8 и ПЩУ10 УС-2.

Для обеспечения поэтапного сброса давления из поршневой полости второй ступени пневмоцилиндра в схему включены два гибких трубопровода, а в пневмошита ПЩ5 и ПЩ10 добавлены электропневмоклапаны ЭК6 и ЭК7, показанные на рисунке 27.

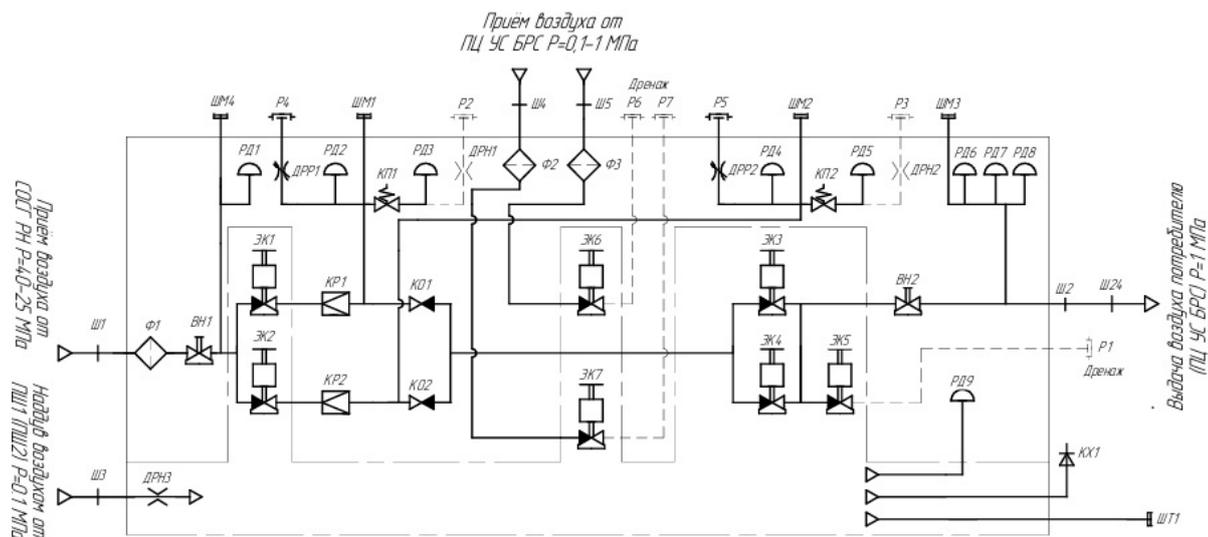


Рисунок 27– Принципиальная схема пневмоцифров управления ПЦУ5 и ПЦУ10

В таблице 15 приведён перечень пневмоэлементов, входящих в принципиальную схему пневмоцифров управления ПЦУ5 и ПЦУ10.

Таблица 15 – Элементы пневматической схемы пневмоцифров управления ПЦУ5 и ПЦУ10

Обозначение	Наименование
ВН1, ВН2	Вентиль с блокировкой открытого положения
ДРН1, ДРН2, ДРН3	Дроссель нерегулируемый
ДРП1, ДРП2	Редуктор (дроссель регулируемый)
КО1, КО2	Клапан обратный
КП1, КП	Клапан предохранительный
КР1, КР2	Редуктор (пневмоклапан редукционный)
КХ1	Клапан дыхательный
Р1-Р7	Рассекатель
РД1-РД5	Сигнализатор давления строенный
РД6-РД8	Сигнализатор давления сдвоенный
РД9	Реле давления
Ф1-Ф3	Фильтр газовый
Ш1-Ш5, ШТ1	Штуцер

Обозначение	Наименование
ШМ1-ШМ4	Штуцер манометровый
ЭК1-ЭК7	Электропневмоклапан

В связи с изменением пневматической схемы изменился и алгоритм её работы.

Алгоритм работы пневмооборудования, изображённого на схемах на рисунках 25, 26 и 27, при подводе стрел УС-1 и УС-2 к бакам 3-й ступени РН описан ниже.

По команде руководителя работ на пневмооборудование расчётом СОСГ в ручном режиме выдаётся сжатый воздух. Через 10 минут после доклада расчёта о выдаче сжатого воздуха в АСУ ТО начинается контроль наличия сигнала «Сжатые газы на КУСК РН поданы», формируемого по сумме сигналов с сигнализатора давления РД1 ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8, ПЩУ10 и РД1 ПЩ1, ПЩ3, показанные на рисунках 25 и 26.

По сумме сигналов с сигнализаторов давления РД1 ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8, ПЩУ10 формируется сигнал «Давление на ПО подано», который контролируется до формирования сигнала «Готовность ПЩУ». В случае исчезновения сигнала «Давление на ПО подано» из АСУ ТО в АСУПП РКН подаётся сигнал «Неисправность ПО».

Требования по пожаробезопасности ПО обеспечивается за счёт наддува ПЩУ воздухом давлением 0,1 МПа. При этом наддув ПЩУ3, ПЩУ5 осуществляется от пневмоциста ПЩ1, ПЩУ8 и ПЩУ10 – от пневмоциста ПЩ3.

После включения наддува от СОГС на ПЩ1 и ПЩ3 АСУ ТО начинает контроль сигнала «Давление на ПЩ наддува подано», формируемого по сумме сигналов с сигнализаторов РД1 ПЩ1 и ПЩ3. Наличие сигнала «Давление на ПЩ наддува подано» контролируется до начала контроля сигнала «Наддув ПЩУ включён».

Сигнализаторы РД3 ПЩ1 и ПЩ3 выдают сигналы о наличии сжатого воздуха давлением 0,1 МПа на выходе ПЩ1 и ПЩ3. Эти сигналы принимаются АСУ ТО и используются для поиска неисправностей.

Контроль наличия наддува пневмоцистов ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8, ПЩУ10 осуществляется АСУ ТО по сигналу «Наддув ПЩУ включён», формируемому по сумме сигналов от сигнализаторов РД9 пневмоцистов ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8, ПЩУ10 через 5 минут после формирования сигнала «Давление на ПЩ наддува подано». Контроль осуществляется до завершения подвода УС.

В случае исчезновения сигнала из АСУ ТО в АСУПП РКН выдаётся сигнал «Неисправность ПО». Для обнаружения неисправности проводится контроль сигнализаторов, участвующих в формировании сигнала «Давление на ПЩ наддува подано», и сигнализаторов РД3 ПЩ1 и ПЩ3.

Функционирование ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10 начинается через 20 минут после подачи воздуха от СОСГ. По команде из АСУПП РКН «Подать рабочее давление на ПО» АСУ ТО в автоматическом режиме выдает команды на открытие ЭПК ЭК1 в ПЩУ3 и через 10 секунд на открытие ЭПК ЭК2. С интервалом в 10 секунд, последовательно выдаются аналогичные команды на ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10.

Через 10 секунд после выдачи команды на открытие ЭПК ЭК2 ПЩУ10 в АСУ ТО формируется сигнал «Готовность ПЩУ», при условии наличия сигналов с сигнализаторов РД2 и отсутствии сигналов с сигнализаторов РД3 ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10, или наличия сигналов с сигнализаторов РД4 и отсутствии сигналов с сигнализаторов РД5 ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10.

При срабатывании сигнализатора РД3 (превышение заданного давления сжатого воздуха) в любом из щитов ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10 в течение более трёх секунд, АСУ ТО снимает команду на открытие ЭПК ЭК1 соответствующего ПЩУ, в результате чего редуктор КР1 отключается и формируется сигнал «Отказ КР1 ПЩУ3, 5, 8, 10».

При срабатывании сигнализатора РД5 в любом из щитов ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10 в течение более трёх секунд, АСУ ТО снимает команду на

открытие ЭПК ЭК2 соответствующего ПЩУ, в результате чего редуктор КР2 отключается и формируется сигнал «Отказ КР2 ПЩУ3, 5, 8, 10»).

При отключении одного из редукторов ПЩУ по срабатыванию сигнализаторов РД3 (РД5) соответствующий сигнализатор РД2 (РД4) в данном ПЩУ снимается с дальнейшего контроля. Из АСУ ТО в АСУПП РКН выдаётся сигнал «Неисправность ПО».

При отключении обоих редукторов в ПЩУ сигнал «Готовность ПЩУ» не формируется, а из АСУ ТО в АСУПП РКН должен быть выдан сигнал «Отказ УС БРС».

При формировании сигнала «Готовность ПЩУ» АСУ ТО передаёт его в АСУПП РКН.

В случае исчезновения сигнала «Готовность ПЩУ» подвод БРС осуществляется за счёт средств ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10, обеспечивающих на время подвода сохранение рабочего давления сжатого воздуха в пневмоприводах УС-1 и УС-2.

Через 40 минут после подачи воздуха от СОСГ по команде из АСУПП РКН в АСУ ТО «Подать давление в ПЩ УС» АСУ ТО автоматически выдаёт одновременно команды на открытие ЭПК ЭК3, ЭК4 в ПЩУ3, затем через 5 секунд команды на открытие ЭПК ЭК3, ЭК4 ПЩУ5, а через 0,24 секунды команду на открытие ЭПК ЭК6 ПЩУ5 и команду на открытие ЭПК ЭК7 ПЩУ5 через 3,5 секунды. Далее через 5 секунд после открытия ЭПК ЭК7 ПЩУ5 АСУ ТО автоматически выдаёт одновременно команды на открытие ЭПК ЭК3, ЭК4 в ПЩУ8, затем через 5 секунд команды на открытие ЭПК ЭК3, ЭК4 ПЩУ510, а через 0,24 секунды команду на открытие ЭПК ЭК6 ПЩУ10 и команду на открытие ЭПК ЭК7 ПЩУ10 через 3,5 секунды.

Через 180 секунд после выдачи команды на открытие ЭПК ЭК7 ПЩУ10 АСУ ТО формирует сигнал «Давление в ПЩ УС подано» как комплексный для ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10, по сумме сигналов двух из трёх сигнализаторов РД6, РД7 и РД8 каждого ПЩУ, и выдаёт его в АСУПП РКН.

С момента формирования сигнала «Давление в ПЦ УС подано» АСУ ТО начинает контроль наличия указанного сигнала до завершения подвода УС. При исчезновении указанного сигнала на время более 2 секунд из АСУ ТО в АСУПП РКН должен быть подан сигнал «Отказ УС БРС».

По завершении операции подвода УС АСУ ТО обеспечивает дренаж сжатого воздуха с пневмоприводов УС-1 и УС-2 и с пневмоцистов через 180 секунд после подвода УС автоматически одновременно снимаются команды на открытие ЭПК ЭК1 и ЭК2 ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10 и через 5 секунд выдаётся команда на открытие ЭПК ЭК5 каждого ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10.

Через 300 секунд АСУ ТО автоматически снимает команды на открытие ЭПК ЭК3, ЭК4, ЭК5 ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10.

В данной схеме также предусмотрена возможность снять давление с ПЦ УС в случае необходимости при отмене пуска или по какой-либо другой причине. В этом случае по команде АСУПП РКН в АСУ ТО «Снять давление с ПЦ УС» автоматически одновременно снимаются команды на открытие ЭПК ЭК1 и ЭПК ЭК2 ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10 и через 5 секунд выдаётся команда на открытие ЭПК ЭК5 каждого ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10 и ЭПК ЭК6, ЭК7 ПЩУ8 и ПЩУ10. Через 300 секунд АСУ ТО автоматически снимает команды на открытие ЭПК ЭК3, ЭК4, ЭК5 ПЩУ3, ПЩУ5, ПЩУ8 и ПЩУ10 ЭПК ЭК6, ЭК7 ПЩУ8 и ПЩУ10 и выдаёт в АСУПП РКН сигнал «Давление с ПЦ УС снято».

В алгоритм при отводе УС от баков III ступени РН (п. 1.4) вносим следующие изменения:

1) к пневмоцистам управления, отвечающим за отвод УС-1, относим ПЩУ1, ПЩУ2 и ПЩУ4, а УС-2 – ПЩУ1, ПЩУ2 и ПЩУ4;

2) при снятии команд на открытие ЭПК ЭК5 каждого ПЩУ1, ПЩУ2, ПЩУ4, ПЩУ6, ПЩУ7 и ПЩУ9 снимаются также команды на открытие ЭПК ЭК6, ЭК7 ПЩУ8 и ПЩУ10.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

При работе пневмопривода на персонал оказывают влияние следующие вредные и опасные производственные факторы: физические, химические, факторы трудового процесса и выполняемых работ. Наиболее заслуживающими внимания, по моему мнению, являются физические факторы (высокое давление рабочей среды, вибрационные, шумовые и термические воздействия, электрическое и магнитное поля), а также факторы выполняемых работ, к которым, согласно приказу Минтруда РФ № 988Н и Минздрава РФ № 1420Н от 31.12.2020, относят работы на высоте, работы со взрыво- и пожароопасными веществами и работы, выполняемые на механическом оборудовании, имеющем открытые движущиеся элементы конструкции.

Снижение рисков возникновения несчастных случаев при эксплуатации пневмоприводов достигается за счёт существующих систем безопасности пневмоприводов, правильной подготовки и обучения персонала для работы с пневмоприводами, а также планового технического обслуживания пневмоприводов.

4.1 Существующие системы безопасности при эксплуатации пневмоприводов

По ГОСТ Р 52869 – 2007 «Пневмоприводы. Требования безопасности» для обеспечения безопасной эксплуатации пневмоприводов к их конструкции предъявляют следующие требования:

– конструкция пневмоприводов должна обеспечивать возможность беспрепятственного доступа к органам управления, местам регулирования и настройки, а также возможность проведения ремонта, осмотра и очистки. Для этого кожухи, ограждения и другие устройства, мешающие выполнять все вышеназванные функции, предусматриваются съёмными;

– если элементы конструкции, представляют опасность для рабочего персонала, то их поверхности должны иметь знаки безопасности и сигнальные

цвета в соответствии с ГОСТ 12.4.026-76 «ССБТ. Цвета сигнальные и знаки безопасности»;

– в конструкцию пневмопривода должны включаться устройства, обеспечивающие полное снятие давления сжатого воздуха с системы, а также устройства, предотвращающие повышение давления сверх заданного значения. Если превышение допустимого давления в системе всё же возможно, то такие пневмоприводы должны содержать предохранительные клапаны, размещенные в доступных для их осмотра и обслуживания местах;

– если превышение давления в пневмоприводе может вызвать опасную ситуацию для персонала или повреждение агрегата, в состав которого входит пневмопривод, то такие приводы должны снабжаться устройствами, блокирующими работу всего агрегата, кроме тех пневмоустройств, прекращение работы которых может вызвать травмирование персонала;

– конструкция пневмопривода должна быть спроектирована так, чтобы внешние и внутренние утечки рабочей среды не создавали опасности для персонала. Неподвижные соединения, наружные стенки, сварные и резьбовые соединения пневмоустройств должны быть герметичными в диапазоне давлений от минимального до $1,5p_{ном}$;

– конструкция пневмопривода должна обеспечивать надёжную фиксацию и возможность опломбирования или запираания регулирующей аппаратуры встроенным замком для предотвращения постороннего вмешательства, самопроизвольного или случайного включения;

– конструкция пневмопривода должна исключать возможность самопроизвольного включения привода под действием собственной массы его элементов, вибраций и ускорений, вызванных и связанным с его функционированием;

– если шумовые характеристики пневмопривода не соответствуют ГОСТ 12.1.003, то в их конструкцию должны быть включены глушащие устройства по ГОСТ 25144;

– если пневмоприводы имеют несколько источников питания, то в их конструкцию должны быть включены устройства блокировки, исключающие появление опасных факторов в случае отключения одного из источников или их включения в разное время;

– для предотвращения сбоев в работе агрегата при наличии электрических или пневматических путевых выключателей необходимо применять жесткие упоры, защитные кожухи и другие приспособления для ограничения опасных перемещений;

– конструкция пневмопривода должна исключать возможность самопроизвольного или преднамеренного изменения положения деталей крепления и соединений, элементов регулирования и настройки при транспортировании и эксплуатации.

ГОСТ Р 52869 – 2007 «Пневмоприводы. Требования безопасности» также устанавливает требования к системе управления пневмоприводов:

– система управления пневмопривода на всех этапах производственного процесса агрегата должна воспрепятствовать непреднамеренным опасным движениям, недопустимой последовательности функций приводов;

– при возникновении опасной ситуации в автоматическом режиме должно происходить полное отключение пневмоприводов устройствами аварийного отключения от источника энергии, а также самофиксирование рабочих органов в выключенном состоянии и нейтрализация оставшейся в пневмоприводах энергии при останове;

– на пульте управления агрегатов с пневмоприводами, для которых предусмотрен общий останов должен находиться орган управления «СТОП ОБЩИЙ» красного цвета. При наличии нескольких пультов управления, на каждом пульте необходимо разместить устройства аварийного отключения и блокировки, не имеющих возможности одновременного управления с разных пультов, а также приспособление, показывающее, какое аварийное устройство используется для выключения системы;

– при наличии нескольких пультов управления необходимо предусмотреть способы выполнения условия однозначности подаваемых команд;

– на пульте управления должны применяться следующие световые сигналы и цветовые индикаторы: красный — для обозначения аварийных и отключающих органов управления, а также для сигнальных элементов, показывающих, что произошло нарушение работы пневмоприводов или условий безопасности, а зеленый — для сигнальных ламп, показывающих, что пневмопривод работает в нормальном режиме;

– при регулировании параметров пневмоприводов вращение ручных элементов управления по часовой стрелке должно увеличивать давление или уменьшать расход пропускаемого рабочего газа. Если поворот ручного элемента управления по часовой стрелке приводит к уменьшению давления или увеличению расхода, то это необходимо отразить в поясняющих надписях.

4.2 Правила безопасной эксплуатации пневмоприводов персоналом

Работы с пневмоприводом должен осуществлять квалифицированный персонал, который в соответствии с ГОСТ 12.2.001 -73 «Система стандартов безопасности труда. Пневмоприводы. Общие требования безопасности» должен знать:

– схему пневмопривода, состав и принцип действия, входящих в него устройств, а также правила их обслуживания;

– места установки кондиционеров сжатого воздуха, пневмоаппаратов и приборов;

– методы регулирования параметров потока рабочего газа;

– методы проверки на герметичность пневмолиний, а также правила их осмотра при испытаниях.

ГОСТ Р 12.1.019-2009 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»

устанавливает следующие требования при работе с электрооборудованием пневмоприводов:

- для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять: защитные оболочки и ограждения; безопасное расположение токоведущих частей (расстояние между ними более 2,5 м); различные виды изоляции токоведущих частей; изоляцию рабочего места; малое напряжение; защитное отключение; предупредительную сигнализацию, блокировки, знаки безопасности;

- для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют: защитное заземление и экранирование; систему защитных проводов; защитное отключение; изоляцию нетоковедущих частей; электрическое разделение сети; малое напряжение; контроль изоляции; компенсацию токов замыкания на землю; электроизоляционные средства; средства индивидуальной защиты.

Также персонал должен пройти инструктаж по электробезопасности и безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения», который утверждает следующее:

- персонал проходит следующие виды инструктажей: вводный инструктаж, первичный и повторный инструктажи на рабочем месте, а также внеплановый и повторный инструктажи;

- проведение инструктажей заключается в выдаче инструктором в устной или письменной форме персоналу обязательных для исполнения требований и указаний по условиям, порядку и последовательности безопасного выполнения должностных обязанностей;

- инструктаж включает в себя: ознакомление персонала с существующими на его рабочем месте вредными и опасными факторами труда, с требованиями безопасности и охраны труда, а также с безопасными способами выполнения работ и методами оказания первой помощи пострадавшему.

4.3 Техническое обслуживание пневмоприводов

В процессе эксплуатации пневматических приводов их составные части неизбежно изнашиваются, вследствие чего происходит отклонение рабочих параметров привода от нормы. Поэтому длительная эксплуатация пневмоприводов без надлежащего технического обслуживания приводит к сокращению ресурса работы и отказу как его отдельных составляющих, так и всего пневмопривода в целом, что в свою очередь повышает риск возникновения несчастных случаев.

ГОСТ Р 52869 – 2007 «Пневмоприводы. Требования безопасности» устанавливает, что объём и периодичность технического обслуживания определяется функциональными характеристиками и назначением пневмопривода. Требования ТО прописываются в эксплуатационной документации. Руководство по эксплуатации пневмоприводов устанавливает следующие требования к ТО [12]:

- необходимо проводить ежедневные и периодические осмотры пневмоприводов и устройств, входящих в их состав, с целью контроля рабочих параметров пневмопривода и выявления их отклонений от заданных значений;

- при эксплуатации устройств очистки воздуха (фильтров) поры их фильтрующих элементов забиваются частицами загрязнителей, что приводит к возрастанию сопротивлению потока сжатого воздуха. Замену или чистку фильтра следует проводить, если перепад давления на нём превышает 0,1 МПа;

- в процессе эксплуатации происходит старение, износ и деформация резиновых уплотнений, поэтому их необходимо периодически проверять и заменять. Это необходимо осуществлять, предварительно удалив старую смазку со всех деталей привода, включая внутреннюю поверхность корпуса;

- необходимо периодически очищать пневмопривод от пыли, чтобы избежать её попадания внутрь пневмопривода. По пневмоприводу запрещается ударять металлическими предметами;

– если включение пневмопривода происходит достаточно редко, то каждые полгода необходимо проводить пробный пуск для обеспечения постоянной эксплуатационной готовности;

– через полгода после ввода пневмопривода в эксплуатацию, а затем раз в год необходимо проверять затяжку болтов между пневмоприводом и запорной арматурой. При необходимости болты нужно затянуть.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В экономической части данной работы проводится расчёт сметной стоимости опытно-конструкторских работ по проектированию пневмоцилиндра двустороннего действия и определение основных показателей ОКР.

Опытно-конструкторские работы по проектированию пневмоцилиндра двустороннего действия включают в себя следующие этапы:

- 1) разработка технического задания;
- 2) выполнение необходимых расчётов;
- 3) проектирование конструкции пневмоцилиндра двустороннего действия;
- 4) изготовление рабочих чертежей;
- 5) подготовка технической документации.

Для выполнения данных работ требуются следующие исполнители:

- 1) руководитель работ (разработка технического задания);
- 2) ведущий инженер – конструктор (выполнение необходимых расчётов, проектирование конструкции пневмоцилиндра двустороннего действия);
- 3) инженер – конструктор (изготовление рабочих чертежей, подготовка технической документации).

Срок выполнения работ составляет 1,5 месяца.

5.1 Определение сметной стоимости опытно-конструкторских работ

При расчёте сметной стоимости учтём следующие затраты:

- основные расходы
- накладные расходы,
- компенсационные расходы
- сметная прибыль [7].

В состав основных расходов включают затраты по следующим статьям:

- основная и дополнительная заработная плата исполнителей;
- страховые взносы в пенсионный фонд и фонды социального страхования;

– прочие основные расходы.

Основная заработная плата определяется окладами исполнителей с учетом районного коэффициента и северной надбавки, а также проработанным временем:

$$ЗП_{осн} = (1 + k_p + k_c + k_{пр}) \cdot \sum_{i=1}^n (q_i \cdot N_i \cdot t_i) \quad (75)$$

где k_p – районный коэффициент;

k_c – коэффициент северной надбавки;

$k_{пр}$ – коэффициент премий;

q_i – оклад i -го работника;

N_i – численность работников, работающих по i -му окладу;

t_i – время работы работников, работающих по i -му окладу.

Районный коэффициент и коэффициент северной надбавки равны 0,3, а коэффициент премий – 0,25.

Оклад руководителя работ – 64000 у.е., ведущего инженера - конструктора – 54000 у.е., инженера - конструктора – 44000 у.е.

Дополнительная заработная плата исполнителей будет равняться 10 % от основной заработной платы.

Страховые взносы в пенсионный фонд и фонды социального страхования составляют 30 % от фонда оплаты труда.

Прочие основные расходы принимаются в размере 3 % от предыдущих статей основных затрат.

Накладные расходы могут составлять от 20 % до 30 % от основных расходов. При проведении проектно-конструкторских работ принимаем их равными 20 %.

Компенсационные затраты включают командировочные расходы и расходы на экспертизу проектно-сметной документации принимаем равными нулю.

Сметная прибыль будет складываться из основных и накладных расходов, умноженных на нормативный коэффициент, равный 0,15.

Результаты расчёта сводной сметной стоимости проведения проектно-конструкторских работ приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты расчёта сметной стоимости ОКР

Статья затрат	Затраты времени, мес.	Оклад с учётом $k_p, k_c, k_{пр}$, у.е.	Сумма, у.е.
Основная заработная плата			
Руководитель работ	0,2	118 400,00	23 680,00
Ведущий инженер-конструктор	0,8	99 900,00	79 920,00
Инженер-конструктор	0,5	81 400,00	40 700,00
Сумма затрат по основной заработной плате			144 300,00
Дополнительная заработная плата			14 430,00
Страховые взносы в пенсионный фонд и фонды социального страхования			47 619,50
Прочие основные расходы			4 329,00
Накладные расходы			28 860,00
Сметная прибыль			35 930,70
Компенсационные расходы			0,00
ИТОГО, в т.ч.:			515 006,70
- фонд заработной платы			158 730,00

5.2 Определение основных показателей ОКР

К основным показателям ОКР относят:

- объём работ, равный сметной стоимости этих работ;
- продолжительность работ;
- число исполнителей;
- производительность труда одного исполнителя;

- средняя заработная плата за период работ;
- среднемесячная заработная плата;
- себестоимость работ;
- сметная прибыль;
- рентабельность работ.

Производительность труда:

$$ПТ = \frac{V_P}{N} \quad (76)$$

где V_P – объём работ;

N – число исполнителей.

Средняя заработная плата за период работ:

$$СЗП = \frac{\varphi}{N}, \quad (77)$$

где φ – фонд заработной платы;

N – число исполнителей.

Среднемесячная заработная плата:

$$СМЗП = \frac{\varphi}{N \cdot t}, \quad (78)$$

где φ – фонд заработной платы;

N – число исполнителей;

t – продолжительность работ.

Рентабельность работ:

$$P=C_{II} \cdot \frac{100}{C_B}, \quad (79)$$

где C_{II} – сметная прибыль;

C_B – себестоимость работ, равная сумме основных и накладных расходов.

Сведём полученные результаты в таблицу 17.

Таблица 17 – Результаты расчёта основных показателей ОКР

Наименование	Значение
объём работ, у.е.	515 006,70
продолжительность работ, мес.	1,5
число исполнителей, чел.	3
производительность труда, у.е./чел.	171 668,90
средняя заработная плата за весь период выполнения работ, у.е./чел.	52 910,00
среднемесячная заработная плата, у.е./чел.	35 273,33
себестоимость работ, у.е.	239 538,00
сметная прибыль, у.е.	35 930,70
рентабельность работ, %	15

Таким образом, с учётом оплаты труда исполнителей и продолжительности работ сметная стоимость опытно-конструкторских работ по проектированию пневмоцилиндра двустороннего действия составила 515 006,70 у.е.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения дипломной работы:

– рассчитаны и определены следующие конструктивные параметры пневмоцилиндра двустороннего действия: диаметры штока и поршня первой ступени равны 50 и 110 мм соответственно, а диаметры штока и поршня второй ступени – 130 и 160 мм; толщина стенок гильз первой и второй ступени – 10 и 14 мм соответственно; толщина днища первой и второй ступени – 12 мм и 20 мм соответственно; диаметр отверстий для подачи воздуха в полости первой и второй ступеней пневмоцилиндра равны 12 и 10 мм соответственно.

– модернизирована пневмосхема пневмопривода стрелы устройств стыковки для обеспечения автоматического подвода и отвода стрел устройств стыковки к (от) бакам (-ов) третьей ступени ракеты-носителя путём добавления ещё одной линии подачи воздуха от системе обеспечения сжатыми газами к пневмоцилиндрам управления, которые позволяют обеспечить подачу воздуха в поршневые полости первой и второй ступеней пневмоцилиндра, и ещё одного пневмоцилиндра наддува для наддува воздухом добавленных пневмоцилиндров управления 3 и 5 устройства стыковки – 1 и пневмоцилиндров управления 8 и 10 устройства стыковки – 2. Также для поэтапного сброса давления из поршневой полости второй ступени пневмоцилиндра в существующую схему включены два гибких трубопровода, а в пневмоцилиндры управления 5 и 10 добавлены электропневмоклапаны 6 и 7.

– рассмотрены методы и способы, позволяющие снизить риски возникновения несчастных случаев при эксплуатации пневмоприводов, включающие в себя требования к конструкции и системе управления пневмоприводов, правила безопасной эксплуатации пневмоприводов персоналом, а также плановое техническое обслуживание пневмоприводов.

– рассчитана сметная стоимость опытно-конструкторских работ по проектированию пневмоцилиндра двустороннего действия, которая составляет

515 006,70 у.е. и определены следующие основные показатели ОКР: продолжительность работ – 1,5 месяцев, число исполнителей – 3 чел., производительность труда – 171 668,90 у.е./чел., средняя заработная плата за весь период выполнения работ – 52 910,00 у.е./чел., среднемесячная заработная плата – 35 273,33 у.е./чел., себестоимость работ – 239 538,00 у.е., сметная прибыль – 35 930,70 у.е., рентабельность – 15 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Азизов, А. Г. Проектирование гидро- и пневмосистем: учебное пособие / А. Г. Азизов, А. М. Рагимов, М. Г. Азизов. — Баку : АГНА, 2004. — 100 с.;
- 2 Герц, Е. В. Расчёт пневмоцилиндров: справочное пособие / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин — Москва: Машиностроение, 1975 — 272 с.;
- 3 ГОСТ 2.704-76. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения гидравлических и пневматических схем: межгосударственный стандарт Российской Федерации: дата введения 1978-01-01. — Издание официальное. — Москва: Стандартформ, 2008. — 13 с.;
- 4 ГОСТ 6636-69. Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные линейные размеры: межгосударственный стандарт Российской Федерации: дата введения 1970-01-01. — Издание официальное. — Москва: Издательство стандартов, 2004. — 7 с.;
- 5 Завалко, А. Г. Проектирование технологического оборудования технического обслуживания и ремонт: методические указания к практическим занятиям для студентов специальности 050713 «Транспорт, транспортная техника и технологии» / А. Г. Завалко, Д. И. Логунов — Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2011 — 64 с.
- 6 Марутов, В. А. Гидроцилиндры. Конструкции и расчёт: учебное пособие / В. А. Марутов, С. А. Павловский — Москва: Машиностроение, 1966 — 172 с.;
- 7 Методика формирования экономической части дипломной работы научно-исследовательского характера / [Электронный ресурс] // studfile.net : [сайт]. — URL: <https://studfile.net/preview/8974564/page:2/> (дата обращения: 07.12.2024);
- 8 Механизация и автоматизация производственных процессов / [Электронный ресурс] // studfile.net : [сайт]. — URL: <https://studfile.net/preview/1811268/page:13/> (дата обращения: 07.12.2024);

9 Назаренко, В. Г. Динамика механизмов: тексты лекций по курсу "Техническая механика" для студентов специальности 53.01.03 / В. Г. Назаренко — Минск: БГУИР, 2002 — 24 с.;

10 Олехнович, Д. Г. Методика и алгоритм автоматизированного расчёта многоступенчатых телескопических гидроцилиндров на устойчивость и прочность: учебное пособие / Д. Г. Олехнович, С. В. Ермилов // Машиностроение и машиноведение Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого №2. — Минск:, 2010. — С. 28-34;

11 Основы мехатроники: методические указания / сост. С. С. Акимов — Оренбург: ОГУ, 2021 — 42 с.;

12 Поворотные пневматические приводы VALBIA. Руководство по эксплуатации. ГП-2019.050.01РЭ, 2019. – 38 с.