

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

«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Информационно-измерительная техника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой,  
д.т.н., профессор  
\_\_\_\_\_ А.Л. Шестаков  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ  
МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КАЛИБРАТОРА ДАВЛЕНИЯ**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ЮУрГУ – 120301.2018.251 ВКР

Руководитель проекта, доцент  
\_\_\_\_\_ А.А. Лысова  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Автор проекта  
студент группы КЭ-475  
\_\_\_\_\_ Т.В. Исламов  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Нормоконтролер, доцент  
\_\_\_\_\_ А.А. Лысова  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Челябинск 2018

## АННОТАЦИЯ

Исламов Т.В. Разработка конструкции пневматической части метрологического калибратора давления. – Челябинск: ЮУрГУ, КЭ; 2018, 68 с., 27 ил., библиогр. список – 15 наим., 19 прил.

В ВКР была разработана конструкция пневматической части метрологического калибратора давления.

Основными элементами пневмосистемы являются две камеры – предварительная и контрольная, прецизионные модули давления и электропневмоклапана.

Общий объем конструкторской документации 19 листов.

В работе было использовано следующее программное обеспечение: MS OfficeWord 2007, Компас – 3D V16.

					ЮУрГУ – 120301.2018.251 ВКР		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Исламов Т.В.			Лит.	Лист	Листов
Провер.		Лысова А.А.				5	68
Н. Контр.		Лысова А.А.			ЮУрГУ Кафедра ИНИТ		
Утверд.		Лапин А.П.					

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1	ПРИНЦИП РАБОТЫ КАЛИБРАТОРА ДАВЛЕНИЯ .....	8
1.1	Анализ технического задания .....	9
1.2	Обзор аналогов .....	9
1.2.1	Метран-530.....	9
1.2.2	ЭЛЕМЕР-ПКД-160-П.....	11
1.2.3	Mensor CPC8000 .....	13
1.2.4	Fluke PPC4.....	15
1.3	Выбор пневматической схемы калибратора давления .....	17
2	РАСЧЕТ КОНСТРУКТОРСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	21
2.1	Прогнозирование изменения давления .....	21
2.2	Алгоритм работы системы управления.....	24
2.3	Предварительное наполнение контрольной камеры.....	24
2.4	Особенности конструкции и выбор элементов .....	28
2.4.1	Подбор трубок .....	28
2.4.2	Расчет добавочного объема перепускного клапана .....	30
2.4.3	Выбор трубок для местного применения.....	31
2.4.4	Расчет камер.....	31
2.4.5	Выбор способа соединения .....	34
2.4.6	База-подложка и Манифольды.....	35
3	КОНСТРУКЦИЯ ПНЕВМОСИСТЕМЫ.....	37
4	ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	44
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	47
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	48
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	49

					ЮУрГУ – 120301.2018.251 ВКР	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## **ВВЕДЕНИЕ**

Во всех отраслях промышленности и коммунального хозяйства применяются десятки миллионов средств измерения давления, количество которых увеличивается в связи с внедрением новых технологий. Для поддержания в работоспособном состоянии этого огромного парка приборов требуется систематически производить их поверку и калибровку. Современный уровень промышленной измерительной техники давления соответствует классам точности в диапазоне 0,075% ...0,5%. Применяемые многие годы средства поверки достаточно громоздки, дороги и предназначены для стационарного использования.

Этот вопрос решает метрологическое оборудование другого класса, т.е. калибраторы давления. В них прецизионное давление является не входным, а выходным сигналом, которое непосредственно подаются на поверяемые приборы. Поддержание заданного уровня давления заложено в конструкции и электроники калибратора, подстройка происходит автоматически.

**Цель ВКР** – разработка пневмосистемы метрологического калибратора давления.

### **Задачи ВКР:**

1. Анализ технического задания
2. Обзор аналогов
3. Выбор принципа работы калибратора давления
4. Прогнозирование изменения давления
5. Расчёт и выбор параметров основных конструктивных элементов.
6. Разработка сборочных чертежей и детализовки пневмосистемы.
7. Разработка технологического процесса сборки пневмосистемы

# 1 ПРИНЦИП РАБОТЫ КАЛИБРАТОРА ДАВЛЕНИЯ

Калибраторы давления – это эталонные приборы, предназначенные для поверки и калибровки в полевых и лабораторных условиях средств измерений давления, непосредственно отображающих значение давления и/или имеющих различные аналоговые (ток, напряжение, состояние реле) выходные сигналы.

Давление на выходе грузопоршневых калибраторов создается прямым физическим способом, а именно массой грузов, воздействующей на эффективную площадь поршня. В классических грузопоршневых калибраторах значение давления рассчитывается вручную суммированием значений давлений, указанных на грузах. В грузопоршневых калибраторах, оснащенных микропроцессором, давление рассчитывается автоматически на основании эффективной площади поршневой пары, истинной массы грузов, значения ускорения свободного падения и параметров окружающей среды.

В переносных цифровых калибраторах измерение давления производится одним или двумя внутренними, а для ряда моделей – еще и несколькими внешними модулями. При этом максимальное количество внешних модулей у различных моделей варьируется. Переносные калибраторы оснащены встроенным измерителем выходных электрических сигналов (мА, В, состояния реле) поверяемых датчиков давления.

Калибраторы-контроллеры имеют возможность как измерения, так и автоматического задания и поддержания давления. В пневматических контроллерах предусмотрено питание от стабилизированного внешнего источника газа, а гидравлические контроллеры оснащены встроенным гидронасосом.

В качестве средств создания и регулировки давления в калибровочных системах используются либо ручные насосы, либо прецизионные регуляторы с внешним источником давления [1].

									Лист
									8
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	120301.2018.251 ПЗ				

## 1.1 Анализ технического задания

По техническому заданию, необходимо разработать пневмосистему метрологического калибратора давления, удовлетворяющего следующим требованиям:

1) измерение, воспроизведение и поддержание целевого давления в пределах рабочего диапазона 0-10 МПа; коэффициент прочности для всего прибора на давления примем 1,2, то есть максимальное давления для прибора будет равно 12МПа, а для отдельных его частей дополнительный запас прочности равный 5. Это условие будет удовлетворять безопасности работы с высоким давлением по нормированным документам, а так же будет защищать пользователя от случайных перегрузок давления и не допустит разрыва частей прибора;

2) стабильность поддержания давления не хуже 0,01% ВПИ;

3) точность измерения давления в диапазоне температур (10...40)°С:  $\pm 0,05\%$ ВПИ, также необходимо конструктивно выполнить возможность прецизионной работы прибора, а также охлаждение и теплоотведение от рабочей среды в атмосферу;

4) рабочая среда сухой газ, не содержащий масел и не вызывающий коррозии;

5) время установления давления при любом изменении – в пределах основной погрешности – не более 30 с при выходной емкости не более 0,5 л.

## 1.2 Обзор аналогов

В качестве аналогов будет рассмотрено несколько моделей калибраторов давления приближенные к требованиям технического задания.

### 1.2.1 Метран-530

Калибратор-контроллер давления Метран-530 предназначен для точного измерения и автоматизированного воспроизведения избыточного давления, разрежения, давления-разрежения. Применяется в качестве эталона (прецизионного манометра и контроллера) при поверке и калибровке датчиков давления, разности давлений, разрежения, давления-разрежения, технических и

					120301.2018.251 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

образцовых манометров и т.п.; для проверки реле давления и т.п. Выбран по следующим параметрам: диапазон измерения давления от 0 до 2 МПа, нестабильность регулирования  $\pm 0,002\%$  ВПИ.

Внешний вид калибратора Метран-530 представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид калибратора Метран-530

Принцип действия калибратора: входное давление питания через систему пневмораспределителей, пневмоекостей и клапанов начинает поступать на выход контроллера. Давление на выходе измеряется с помощью рабочего модуля давления. Его выходной сигнал поступает на вход микропроцессорного блока, который управляет работой пневмоклапанов. Клапаны, управляемые по особому алгоритму, пропускают давление питания на выход или наоборот стравливают выходное давление в атмосферу. Совместная и синхронизируемая микропроцессорным блоком работа клапанов обеспечивает плавный выход давления на заданное (целевое) значение и без перерегулирования, что очень важно для проверки вариации датчиков давления и манометров [2].

Технические характеристики:

Диапазоны измерения-воспроизведения давления.....до 0...2,0 МПа;

Нестабильность регулирования давления.....  $\pm 0,002\%$  ВПИ;

Единицы измерения давления:.....Па, кПа, МПа, бар, мбар, кг/см<sup>2</sup>, мм вод. ст., мм рт. ст.;

Возможность поддержания предельно малых давлений.....от 100 Па;

						120301.2018.251 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			10

### 1.2.2 ЭЛЕМЕР-ПКД-160-П

Портативные калибраторы давления ЭЛЕМЕР-ПКД-160 (ПКД) предназначены для точного воспроизведения и измерения избыточного давления, электрических сигналов силы постоянного тока и сигналов преобразователей давления эталонных ПДЭ-020. Данный калибратор был выбран по следующим критериям: воспроизведение давления в системе до 16 МПа; считывание значения эталонного давления, измеренное преобразователем давления эталонным ПДЭ (предел допускаемой относительной погрешности от  $\pm 0,02\%$ ). Принцип действия Переносной ПКД выполнен в пластиковом кейсе и имеет горизонтальную лицевую панель. На внутренней стороне крышки кейса расположена сумка с принадлежностями и схема пневматической системы. Настольный ПКД имеет металлический корпус с вертикальной лицевой панелью. На лицевой панели ПКД располагаются управляющие элементы пневматической системы и панель электронного измерительного устройства с OLED дисплеем, кнопками и электрическими разъемами. У настольного ПКД часть элементов — входной и выходной штуцеры, а также разъем для подключения сетевого кабеля — находятся на задней стороне прибора.

Внешний вид калибратора ЭЛЕМЕР-ПКД-160 представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид калибратора ЭЛЕМЕР-ПКД-160

										Лист
										11
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



К пневматической системе ПКД при помощи шлангов и гребенок с быстрозажимными соединениями с самоуплотнением подключаются ПДЭ и поверяемые датчики давления.

Поверяемые датчики давления подключаются к измерительным каналам ПКД, эталонные преобразователи ПДЭ подключаются к ПКД по цифровому протоколу. При помощи элементов управления в пневматической системе создается и поддерживается избыточное давление. ПДЭ измеряет давление и в виде цифрового сигнала передает в измерительное устройство. Измерительное устройство измеряет токовые выходные сигналы датчиков давления и в соответствии с их диапазоном измерений преобразует в значение давления. Также в измерительном устройстве происходит сличение данных от эталонного преобразователя давления ПДЭ и поверяемых датчиков давления, производится расчет погрешности измерения давления, приведенный к диапазону измерений поверяемых датчиков. Вся полученная информация отображается на дисплее и может быть занесена в архив для последующей обработки и формирования протокола поверки. При работе под управлением персонального компьютера используется программа «АРМ ПКД-160». В этом случае измерительное устройство выполняет роль измерителя токового сигнала, а вся обработка результатов выполняется программой. Программа также осуществляет цифро-графическую визуализацию результатов измерений, формирование протоколов, и распечатку на принтере.

ПКД применяются в качестве эталонного комплекса средств измерения при поверке рабочих средств измерения давления (цифровых и стрелочных преобразователей давления, манометров), а также в качестве высокоточных рабочих средств измерения при калибровке, поверке и настройке (градуировке) рабочих средств измерения давления как в лабораторных и промышленных условиях, так и в полевых условиях [3].

Технические характеристики:

Воспроизведение давления в системе..... до 16 МПа;

									Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	120301.2018.251 ПЗ				12

Считывание значения эталонного давления, измеренное преобразователем давления эталонным ПДЭ (предел допускаемой относительной погрешности от  $\pm 0,02\%$ ).

Автоматическое сличение показаний рабочих средств измерения давления с эталоном и вычисление погрешности;

Передача данных и управление калибратором давления с персонального компьютера через USB-порт или USB-flash носитель с возможностью автоматической выдачи на печать протоколов поверки;

Масса.....15 кг;

### 1.2.3 Mensor CPC8000

Mensor CPC8000 как эталонное средство передачи единицы давления, вследствие метрологических характеристик, подходит для большинства задач калибровки и/или поверки средств измерения давления. Данный калибратор был выбран исходя из следующих значений: диапазон давлений от 2500Па до 40МПа, компенсированный диапазон температур 15 ... 45 °С, стабильность поддержания задаваемого давления: не более 0,001 % от ВПИ встроенного модуля задачи.

Данные особенности позволяют применять CPC8000 как рабочий эталон для испытаний, поверки и калибровки практически всех видов средств измерения давления.

Внешний вид калибратора Mensor CPC8000 представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Внешний вид калибратора Mensor CPC8000

CPC8000 возможен в исполнении как для настольного использования, так и для установки в стойку 19". Сенсоры можно снять и поменять на другие через

переднюю панель без снятия самого калибратора. Максимальная простота использования достигается посредством большого сенсорного дисплея и интуитивного меню навигации. В дополнение, кроме выбора большого числа языков доступен и русский. На большом сенсорном дисплее можно найти всю необходимую информацию, такую например как, текущее измеряемое/задаваемое давление и точка установки. Дополнительно, измеренные значения давления также могут отображаться в других единицах давления. Полностью автоматическая работа возможна посредством удаленного управления CPC8000 через ПК. По запросу могут быть изготовлены полностью укомплектованные мобильные или стационарные системы. Интерфейсы IEEE-488.2, RS-232, USB и Ethernet для коммуникации с другими устройствами, дают возможность встроить CPC8000 в существующие системы [4].

Применение:

- промышленность (лаборатории, технологические линии и производство);
- производители средств измерения давления;
- калибровочные и поверочные лаборатории;
- исследовательские лаборатории;
- национальные метрологические институты и региональные центры метрологии.

Технические характеристики:

Диапазоны давления.....от 2500Па до 40МПа;  
 Стабильность поддержания задаваемого давления.....не более 0,001 % от ВПИ встроенного модуля задачи;  
 Рабочая температура.....15 ... 45 °С;  
 Время выхода на режим.....25 мин;  
 Масса.....21кг;  
 Расширенная неопределенность:.....до 0,008 % IS (IntelliScale);  
 Защита от перегрузки:.....предохранительный клапан сброса;  
 До 3-х встроенных, быстросъемных сенсоров.

					120301.2018.251 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

#### 1.2.4 Fluke PPC4

Пневматические калибраторы-контроллеры давления PPC4 предназначены для точного задания, измерения и поддержания абсолютного и избыточного давления в широком диапазоне при использовании в составе автоматических калибровочных и испытательных систем. Данный калибратор был выбран исходя из следующих значений: диапазон давлений до 14МПа, диапазон температур 15 ... 40 °С, погрешность от  $\pm 0,008\%$  до  $\pm 0,015\%$ .

Общий вид пневматического калибратора-контроллера давления PPC4 изображен на рисунке 4.



Рисунок – 4 Калибратор-контроллер давления Fluke PPC4

Пневматические калибраторы-контроллеры давления PPC4 могут использоваться в составе автоматических калибровочных и испытательных систем. Быстродействующая схема на основе отсечных соленоидных клапанов позволяет плавно регулировать снижение давления. Встроенный барометр обеспечивает простое переключение режимов измерения абсолютного или избыточного давления. Пользователи могут осуществлять калибровку измерительных преобразователей, датчиков, а так же аналоговых и цифровых измерительных приборов с использованием цветного графического интерфейса пользователя – либо автоматизировать процесс калибровки с помощью удаленного подключения к компьютеру. Модельный ряд Fluke PPC4E и Fluke PPC4EX обеспечивает погрешность калибровки  $\pm 0,02\%$  для диапазонов понижения давлений 10:1 или 100:1. Функция автоматического выбора диапазона (AutoRange) мгновенно выбирает такие параметры настройки калибраторов Fluke

									Лист
									15
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

PPC4, чтобы получить оптимальную точность, безопасность и измерительные характеристики на любом участке диапазона его давлений. Открытая архитектура PPC4 позволяет создавать автоматические калибровочные системы различных конфигураций [5].

Технические характеристики:

Диапазон давления от вакуума.....до 14 МПа;

Погрешность.....от  $\pm 0,008\%$  до  $\pm 0,015\%$ ;

Расчет и отображение погрешности измерения в реальном масштабе времени;

Высокая устойчивость к воздействию окружающей среды.

Масса.....16,6 кг.

Из выше перечисленного можно сделать вывод, что целевое давление в этих контроллерах создаётся в одной проточной камере. На входе и выходе этой камеры установлены две пары клапанов. Пара выходных клапанов также включает в себя «быстрый» и «медленный» выходные (выпускные) клапана. Давление в камере устанавливается за счёт разности расходов при дифференциальном включении входных и выходных клапанов (впускные и выпускные клапана открываются и закрываются с некоторым перекрытием во времени). Для поддержания требуемого перепада давления на клапанах используются входной и выходной мембранные регуляторы расхода.

Недостатком этого метода задания давления является следующее: в силу механической регулировки максимального перепада давления на впускных и выпускных клапанах величина этого перепада из-за неустойчивости такой регулировки устанавливается достаточно большой. Это приводит к необходимости чрезвычайно высокого быстродействия клапанов. В результате приходится применять дорогостоящие специализированные конструкции. Клапана постоянно находятся в работе в режиме широтно-импульсной модуляции, что приводит к их быстрому износу и повышенному энергопотреблению. Кроме того, недостатком является и постоянный расход воздуха, величина которого велика, связанный с работой регуляторов расхода, а также с режимом поддержания

										Лист
										16
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	120301.2018.251 ПЗ					

давления в камере (манифольде), при котором входной и выходной клапана часть времени открыты одновременно.

Чрезвычайно высокая стоимость таких решений, и невысокий ресурс исполнительных элементов, делают ныне выпускаемые контроллеры экзотическими приборами, доступными лишь очень немногим потребителям.

Из этого можно сделать вывод, что при конструировании калибратора необходимо сделать его точным, мобильным и дешевым.

### **1.3 Выбор пневматической схемы калибратора давления**

Была составлена пневматическая схема калибратора давления, изображенная на рисунке 5.

Схема включает в себя входную группу клапанов, предварительную камеру, группу перепускных клапанов, контрольную камеру.

Входная группа предназначается для подачи или сброса давления в предварительной камере, она оснащена двумя датчиками FAS, дросселями и соединительными штуцерами. Клапан FAS обеспечивает контроль забора или сброса давления, дроссель с малым внутренним диаметром обеспечивает воздушное сопротивление для более плавного набора давления, а соединительные штуцера позволяют подсоединять разные источники давления.

Перепускная группа соединена с контрольной камерой и параллельно с перепадным датчиком давления, который отслеживает перепад давления между камерами. Контрольная камера имеет вентиляцию, которая управляется через систему управления с помощью клапана FAS, а также имеет соединение с датчиком давления, передающий показание давления в камере, и с поверяемым датчиком давления, имеющиеся соединение оснащено краном, для отсечки давления в контрольной камере, что позволяет экономить сжатый газ и время подстройки давления.

Основой метода задания давления является двойное параллельное регулирование давления в двух камерах – предварительной и контрольной. Параллельно поддерживают грубо давление в предварительной камере и

прецизионно в контрольной камере. Фактически, давление в контрольной камере это и давление в измерительном объеме. Давления замеряются параллельно в обеих камерах, затем сравниваются их значения друг с другом.

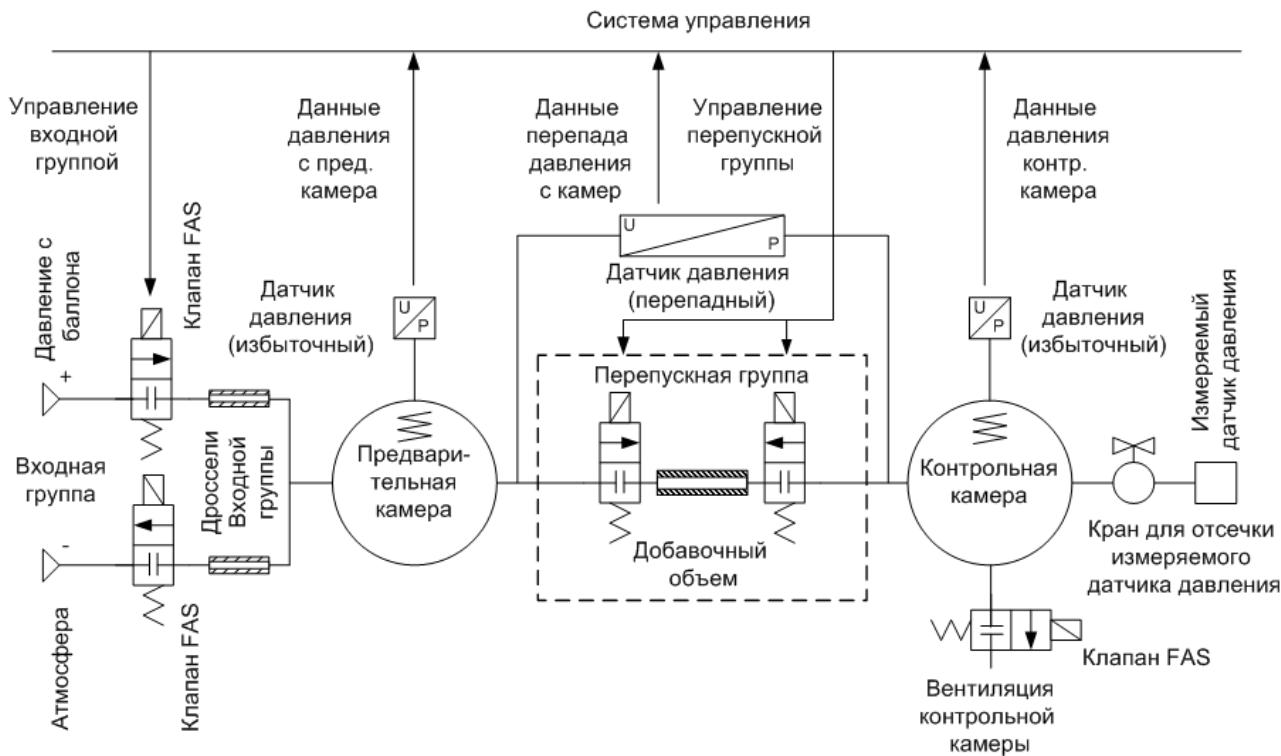


Рисунок – 5 Пневматическая схема калибратора давления

Давление в контрольной камере поддерживают близким к установленному, а давление в предварительной камере изменяют так, чтобы разность давлений в камерах поддерживалась в пределах, обеспечивающих требуемую дискретность изменения давления в контрольной камере, осуществляемого путем прямой и обратной подачи необходимого количества газа через канал между камерами.

Управление давлением в предварительной камере осуществляется с помощью входной группы клапанов, которая регулирует давление  $P_{пред.}$  в предварительной камере таким образом, чтобы оно было больше задаваемого давления  $P_{задв.}$  в контрольной камере, если давление в контрольной камере меньше задаваемого давления  $P_{задв.}$  (т. е, чтобы выполнялось условие  $P_{контр.} < P_{задв.} < P_{пред.}$ ), или чтобы давление  $P_{пред.}$  в предварительной камере было меньше задаваемого давления

$P_{\text{задав.}}$  в контрольной камере, если давление в контрольной камере  $P_{\text{контр.}}$  больше задаваемого давления  $P_{\text{задав.}}$  (т.е. чтобы выполнялось условие  $P_{\text{контр.}} > P_{\text{задав.}} > P_{\text{пред.}}$ ). При этом разность  $|P_{\text{контр.}} - P_{\text{пред.}}|$  поддерживается в пределах, зависящих от  $P_{\text{задав.}}$ , таких, чтобы при минимально возможном эффективном времени открытого состояния перепускных клапанов изменение давления в контрольной камере было не более заданного значения. Иными словами, так как величина расхода воздуха через перепускную группу клапанов уменьшается с уменьшением разности  $|P_{\text{контр.}} - P_{\text{пред.}}|$ , то, несмотря на конечность времени открытия клапанов, можно обеспечить необходимую плавность изменения давления в контрольной камере. При этом регулирование давления в предварительной камере сохраняет значительную дискретность, поскольку впускной и выпускной клапана работают на больших перепадах давления. Однако это не существенно, поскольку точность удержания разности  $|P_{\text{контр.}} - P_{\text{пред.}}|$  существенно меньше необходимой точности стабилизации величин. Управление давлением в контрольной камере осуществляется с помощью группы перепускных клапанов, которая состоит из двух клапанов. При этом для обеспечения высокой разрешающей способности (малой дискретности) и стабильности регулирования без увеличения расхода газа используется их последовательное соединение. Клапаны в группе могут открываться одновременно при необходимости больших изменений давления в контрольной камере или с перекрытием по времени, если требуется малое изменение давления в контрольной камере и необходимое эффективное время открытого состояния клапанов меньше, чем фактическое время их срабатывания.

Величина этого перекрытия и определяет эффективное время открытого состояния клапанов. При этом минимальное изменение давления в контрольной камере при определенном перепаде давления на группе ограничивается добавочным объемом соединений между клапанами, следовательно, этот объем должен быть минимальным.

Управление клапанами, измерение давления и вычисление необходимых времен открытия клапанов осуществляет система управления.

									Лист
									19
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



Таким образом, основное преимущество разрабатываемого прибора – потенциально более высокая разрешающая способность в сравнении с иностранными аналогами. Разрабатываемый прибор более надёжен и технологичен в связи с отсутствием сложных специализированных пневматических элементов (регуляторов расхода), использующихся в зарубежных аналогах. Кроме того, режим работы клапанов в такой схеме более благоприятный, чем у рассмотренных аналогов, клапана работают с меньшей частотой, что увеличивает их ресурс и даёт возможность использования более простых и дешёвых клапанов. Конструкция является более дешевой по сравнению с зарубежными аналогами, а ее легкость и не большие габариты позволяют использовать как мобильное средство измерения.

**Вывод по разделу 1:** был проведен анализ технического задания, рассмотрен принцип работы калибратора давления, далее необходимо разработать пневмосистему метрологического калибратора давления, сделать прогнозирование изменения давления, выполнить расчёт и выбор параметров основных конструктивных элементов.

									Лист
									20
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

## 2 РАСЧЕТ КОНСТРУКТОРСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

### 2.1 Прогнозирование изменения давления

При регулировании уровня давления, представляется целесообразным прогнозировать изменение давления в зависимости от времени открытия клапана. Ниже приводится вывод аналитических зависимостей, позволяющих выполнить поставленную задачу.

Запишем уравнение состояния газа, содержащегося в ограниченной емкости:

$$pV = mRT,$$

где  $p$  – давления газа;

$V$  – объем емкости;

$R$  – газовая постоянная атмосферного воздуха;

$M$  – масса газа, содержащегося в емкости;

$T$  – температура газа.

После изменения количества газа, содержащегося в емкости, на величину  $\Delta m$ , давление в емкости будет отличаться от предыдущего значения на величину  $\Delta p$ .

Полагая, что процесс перетекания, вследствие теплообмена с окружающей средой происходит изотермически, получим:

$$(p + \Delta p)V = (m + \Delta m)RT.$$

Массу газа можно выразить через нормализованный объем (объем данной массы газа при нормальных условиях):

$$\Delta m = \rho_0 \Delta V_n,$$

где  $\Delta V_n$  – изменение нормализованного объема газа;

					120301.2018.251 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

$\rho_0$  – плотность газа при нормальных условиях.

Значение газовой постоянной запишем через параметры газа при нормальных условиях:

$$R = \frac{p_0}{\rho_0 T_0}.$$

Таким образом, изменение давления в емкости, вызванное увеличением или уменьшением массы, содержащегося в ней газа равно:

$$\Delta p = \frac{\Delta m}{V} RT = \frac{\Delta V_n}{V} \frac{T}{T_0} p_0,$$

$$\Delta V_n = Q_n \Delta t = \frac{G}{\rho_0} \Delta t,$$

где  $Q_n$  – объемный расход нормализованного газа;

$\Delta t$  – время открытия клапана;

$G$  – величина массового расхода газа.

Для атмосферного воздуха Людвигом Прандтлем были получены приближенные зависимости, позволяющие находить величину массового расхода с точностью приемлемой для практических вычислений [6]:

$$\begin{cases} G = 0,00498 \cdot F \cdot \sqrt{p_2 \cdot (p_1 - p_2)} \cdot K_t, \text{ при } p_2 > 0,5 \cdot p_1 \\ G = 0,00498 \cdot F \cdot \frac{p_1}{2} \cdot K_t, \text{ при } p_2 \leq 0,5 \cdot p_1, \end{cases}$$

где  $p_1$  – величина напорного давления, Па;

$p_2$  – величина противодействия, Па;

$F$  – эффективная площадь проходного сечения, м<sup>2</sup>;

$K_t$  – температурный коэффициент ( $K_t = \sqrt{\frac{T_0}{T_1}}$ );

$T_1$  – температура газа в напорном резервуаре, °К.

Здесь и далее индекс «1» относится к области большего (напорного) давления, а индекс «2» – к области меньшего давления (противодавления).

Площадь проходного отверстия характеризуется коэффициентом пропускной способности  $K_V$ , который вычисляется при нормальных условиях и равен объёмному расходу через это отверстие при нормальных условиях.

$$F = K_V \sqrt{\frac{\rho_0}{2 \cdot \Delta p}}.$$

С учетом последнего выражения, уравнения объёмного расхода нормализованного воздуха примут вид:

$$\begin{cases} Q_n = 2\alpha K_V \sqrt{p_2 \cdot (p_1 - p_2)} K_t, & \text{при } p_2 > 0,5p_1 \\ Q_n = \alpha \cdot K_V \cdot p_1 \cdot K_t, & \text{при } p_2 \leq 0,5 \cdot p_1, \end{cases}$$

где  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности.

Из вышеизложенного следует, что изменение давления за непродолжительный промежуток времени можно описать следующими математическими зависимостями:

$$\begin{cases} \Delta p = 2 \frac{\alpha K_V p_0}{K_t V} \phi_p \Delta t \\ \phi_p = \sqrt{p_2 \cdot (p_1 - p_2)}, & \text{при } p_2 > 0,5p_1 \\ \phi_p = 0,5p_1, & \text{при } p_2 \leq 0,5 \cdot p_1. \end{cases}$$

					120301.2018.251 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23





Получаем показания датчика давления D2 до тех пор, пока темп изменения давления не снизится до 2 Па/с, в целях частичной стабилизации давления и температуры.

Режим поддержания уровня номинального давления в заданных пределах:

а) получаем показания датчиков давления D1 и D2;

б) вычисляем уровень номинального давления в предварительной камере:

$$p_{1n} = p_{2n} + (p_{2n} - p_2) \frac{V_2}{V_1},$$

где  $p_2$  – уровень давления в контрольной камере.

в) в зависимости от выполнения поставленных условий, выкидываем флаг, указывающий в какой из камер следует корректировать уровень давления.

Первое логическое условие:  $L_1 = p_2 < p_{2n} \cdot AND \cdot p_1 < p_{1n}$ .

Второе логическое условие:  $L_2 = p_2 > p_{2n} \cdot AND \cdot p_1 > p_{1n}$ ,

где  $p_1$  – уровень давления в предварительной камере;

Если  $L_1 = TRUE$ , давление необходимо регулировать в предварительной камере.

Если  $L_1 = FALSE$ , давление необходимо регулировать в контрольной камере.

Если  $L_2 = TRUE$ , давление необходимо регулировать в предварительной камере.

Если  $L_2 = FALSE$ , давление необходимо регулировать в контрольной камере;

г) в случае необходимости корректировки давления в контрольной камере определяется время включения перепускных клапанов:

$$\begin{cases} t = \frac{V_2}{2k \sqrt{1 + \frac{V_2}{V_1}}} \left( \arcsin \left( \frac{2p_{2n}}{p_{12}} - 1 \right) - \arcsin \left( \frac{2p_2}{p_{12}} - 1 \right) \right), \text{ при } p_2 < p_1 \\ t = \frac{V_2}{2k \sqrt{1 + \frac{V_2}{V_1}}} \left( \arcsin \left( \frac{2p_{2n}}{p_{12}} - 1 \right) - \arcsin \left( \frac{2p_1}{p_{12}} - 1 \right) \right), \text{ при } p_2 > p_1, \end{cases}$$

где  $p_c$  – уровень давления в предварительной камере, соответствующий номинальному давлению в рабочей камере;

$P_{12}$  – уровень равновесного давления, который установится при соединении камер.

Значение указанного давления определяется по формуле:

$$p = p_1 + \frac{V_2}{V_1}(p_2 - p_{2n});$$

д) когда требуемое время открытия клапанов меньше минимально возможного, принимается решение о необходимости регулировки давления в предварительной камере.

В противном случае, идет проверка качества регулирования в рабочей камере. Если наблюдается выход за трубку регулирования, необходимо выполнить п. г).

Если выход за допустимые пределы отсутствует, выполняется п. а)

Если давление в предварительной камере выше требуемого, включаем выпускной и отсечной клапана. Время включения рассчитывается по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} t = \frac{V_1}{k} \left( \sqrt{\frac{p_1}{p_0} - 1} - \sqrt{\frac{p_{1n}}{p_0} - 1} \right), \text{ при } p_1 \leq 2p_0 \\ t = \frac{V_1}{k} \ln \left( \frac{p_1}{p_{1n}} \right), \text{ при } p_1 > 2p_0. \end{array} \right.$$

Если давление в предварительной камере ниже требуемого, включаем выпускной и отсечной клапан. Время включения рассчитывается по формулам:



$$\left\{ \begin{array}{l} t = \frac{V_1}{2k} \cdot \left( \arcsin \left( \frac{2p_{1n}}{p_{sup}} - 1 \right) - \arcsin \left( \frac{2p_1}{p_{sup}} - 1 \right) \right), \text{ при } p_1 \geq 0,5p_{sup} \\ t = \frac{V_1}{k} \cdot \frac{p_{1n} - p_1}{p_{sup}}, \text{ при } p_1 < 0,5p_{sup}; \end{array} \right.$$

е) После закрытия включенного клапана, выполняется пункт а).

## 2.4 Особенности конструкции и выбор элементов

Применяемое давление в приборе равно 10 МПа, это высокое давление и поэтому необходим повышенный запас прочности к элементам конструкции, в нашем случае коэффициент прочности будет пятикратным [8].

### 2.4.1 Подбор трубок

Проведем исследование сортаментов труб, которые будем использовать в приборе. Для этого отсортируем все трубки по параметру D/S, где D – внешний диаметр, а S – толщина трубки. Разрез трубки представлен на рисунке 6.

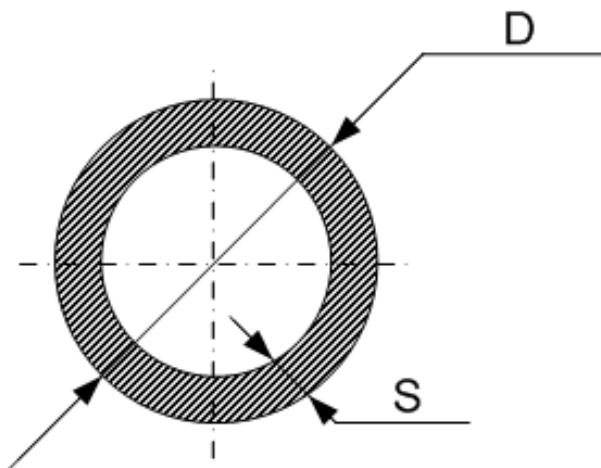


Рисунок 6 – Разрез трубки

Выведем необходимые соотношения для 10 МПа, с помощью формулы для расчета прочности трубы, находящейся под давлением.

$$P = \frac{20R_m S}{DN},$$

где  $R_m$  - значение текучести материала;

$S$  – толщина стенки трубки;

$D$  – наружный диаметр трубки;

$N$  – коэффициент запаса прочности.

Из формулы приведенной выше получаем следующее:

$$\frac{D}{S} = \frac{20R_m}{NP},$$

$$\frac{D}{S} = \frac{20 \cdot 180 \cdot 10^5}{5 \cdot 10 \cdot 10^6} = 7,2.$$

Максимальное соотношение между внешним диаметром и толщиной стенку равно 7,2. Приведем таблицу соотношений D/S для разного сортамента труб. Сортамент трубок виде этого отношения представим в таблице 1.

Таблица 1 – Сортамент трубок

Трубка	Трубка Ø4мм со стенкой 1мм	Трубка Ø4мм со стенкой 1,2 мм	Трубка Ø6мм со стенкой 1 мм	Трубка Ø6мм со стенкой 1,2 мм	Трубка Ø6мм со стенкой 2мм	Трубка Ø8мм со стенкой 1мм	Трубка Ø8мм со стенкой 1,2мм	Трубка Ø8мм со стенкой 2мм
D/S	4	3,33	6	5	3	8	6,67	4

В приборе целесообразно применять трубки меньшего диаметра, для уменьшения объемов внутренних полостей, что уменьшает затраты сжатого воздуха. Для этого будем использовать трубки минимального диаметра для соединения частей прибора и трубку большего диаметра для создания объема (винтовая трубка, как камера с объемом сжатого воздуха, см. далее). Из

перечисленного сортамента используем трубку Ø4мм со стенкой 1мм и трубка Ø6мм со стенкой 1мм, так как имеют оптимальное соотношения внешнего диаметра и толщины стенки. Убедимся в правильности расчета:

Трубка Ø4мм со стенкой 1мм:

$$P = \frac{20R_m S}{DN} = \frac{20 \cdot 180 \cdot 1}{4 \cdot 5} = 180 \text{ атм} = 18 \text{ МПа.}$$

Трубка Ø6мм со стенкой 1мм:

$$P = \frac{20R_m S}{DN} = \frac{20 \cdot 180 \cdot 1}{6 \cdot 5} = 120 \text{ атм} = 12 \text{ МПа.}$$

Из расчета следует, что трубки способны выдержать давления, а также имеют дополнительный запас прочности, поэтому применение безопасно для жизнедеятельности.

#### 2.4.2 Расчет добавочного объема перепускного клапана

Перепускной клапан имеет добавочный объем, его схема представлена на рисунке 7.

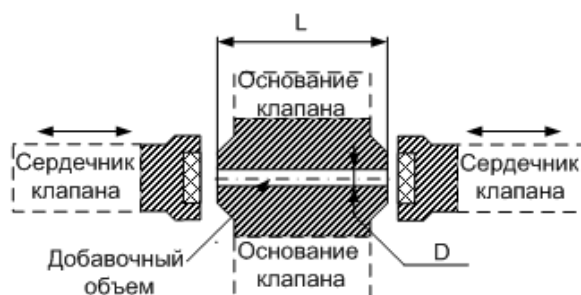


Рисунок 7 – Схема перепускного клапана

Добавочный объем представляет из себя цилиндрическое отверстие длиной L и диаметром D.

$$L = 19 \text{ мм}$$

$$D = 0,5 \text{ мм}$$

Добавочный объем предназначен для работы в порционном режиме, для установления давления в контрольной камере. Для точного установления давления в контрольной камере, необходимо сделать минимальный объем. Поэтому был произведен подбор диаметра сверла относительно длины сверления. Выбрано сверло диаметром  $\varnothing 0,5$  мм и способ двухстороннего сверления. Произведем расчет объема:

$$V = LD^2\pi,$$

$$V = 19 \cdot 0.5^2\pi = 14.915 \sim 15 \text{ мм}^3.$$

Получившееся значение, будем использовать для расчета объемов камер для точного задания давления.

#### *2.4.3 Выбор трубок для местного применения*

Необходимой задачей является уменьшение объема внутренней полости в не камер. Поэтому переходные соединения будем делать из трубки  $\varnothing 4$ мм со стенкой 1мм.

Предварительную и рабочую камеры выполним из трубок  $\varnothing 6$ мм со стенкой 1мм в виде спирали. Спиральная конструкция обеспечит большую площадь поверхности, чем, скажем, обыкновенная в форме параллелепипеда или цилиндрическая. Большая площадь поверхности позволяет сильно увеличить теплоотвод и избежать постоянного нагрева, или даже перегрева внутри прибора. Нагрев камер связан с нагревом воздуха, подающегося в камеры под давлением.

#### *2.4.4 Расчет камер*

По известному добавочному объему найдем объем предварительной и контрольной камеры. Значения объема контрольной камеры 1000 раз больше, чем добавочный объем, а предварительная камера для увеличения устойчивости

									Лист
									31
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

давления, в 2 раза больше контрольной. Принципиальная схема камер изображена на рисунке 8.

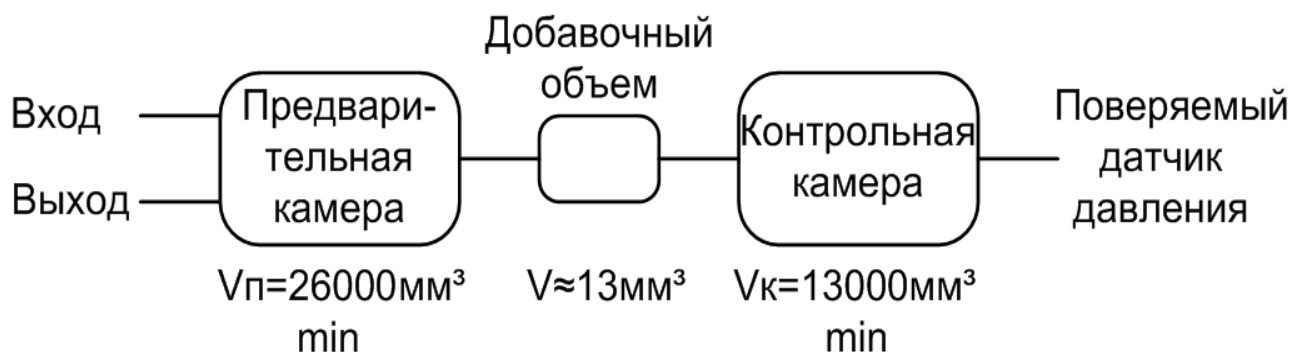


Рисунок 8 – Принципиальная схема камер

Рассчитаем объемы камер:

$$V = 13 \text{ мм}^3 - \text{Добавочный объем;}$$

$$V_k = 13 \cdot 1000 = 13000 \text{ мм}^3 - \text{Контрольный объем;}$$

$$V_{\text{п}} = V_k \cdot 2 = 26000 \cdot 2 = 26000 \text{ мм}^3 - \text{Предварительный объем.}$$

Принципиальная схема контрольной камеры представлена на рисунке 9.

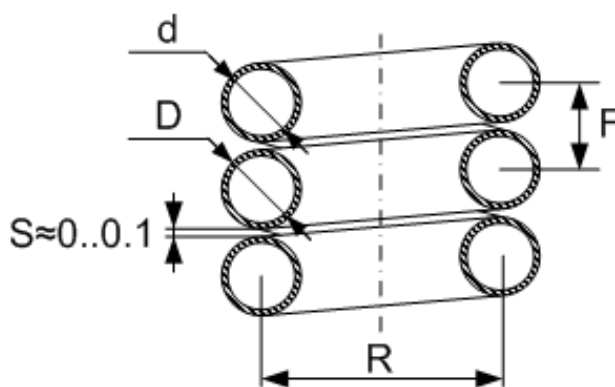


Рисунок 9 – Принципиальная схема контрольной камеры

Контрольную камеру выполним также из медной трубки (МЗ ГОСТ 859-2001) внешним диаметром  $\varnothing 6$ мм и внутренним  $\varnothing 4$ мм.

Объём внутренней полости трубки, как было определено выше:

$$V_k = 0,013 \cdot 10^6 \text{ мм}^3 = 0,013 \text{ л}$$

Площадь сечения внутри трубки:

$$S_{mp} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 12,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Длина трубки, из которой навивается камера:

$$L_k = \frac{V_k}{S_{mp}} = \frac{0,013 \cdot 10^6 \cdot 10^{-9}}{12,6 \cdot 10^{-6}} = 1,03 \text{ м.}$$

Диаметр технологического цилиндра, на который навивается камера, составляет  $R = \text{Ø}30\text{мм}$ . Витки навиваются один к одному, плотно, поэтому возникающий зазор  $S$  от возможных погрешностей можно не учитывать.

Угол навивки:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{F}{\pi R}\right) = \arctg\left(\frac{6}{3,14 \cdot 30}\right) = 3,6^\circ$$

Определим число витков:

$$i_k = \frac{L_k \cos(\alpha)}{\pi D} = \frac{1,03 \cos(3,6^\circ)}{3,14 \cdot 30 \cdot 10^{-3}} \sim 11$$

Предварительную камеру будем делать из той же трубки что и контрольную.  
Объём внутренней полости трубки, как было определено выше:

$$V_n = 0,026 \cdot 10^6 \text{ мм}^3 = 0,026 \text{ л.}$$

					120301.2018.251 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

В связи с тем что изменяется только объем камеры, а остальные параметры остаются неизменными, то камера имеет следующие параметры:

Длина трубки, из которой навивается камера:  $L_{\text{п}} = 2,06$  м.

Число витков первого слоя  $i_{\text{п}} = 13$ , второго слоя  $i_{\text{п}} = 3,25$ .

#### 2.4.5 Выбор способа соединения

Для соединения трубок будем использовать паяное соединение. Необходимо рассчитать общую площадь паянного соединения на давление в 10 МПа. В нашем случае трубка будет впаиваться в манифольд, поэтому регулировать площадь будем по длине пайки. Общий вид паяного соединения представлен на рисунке 10.

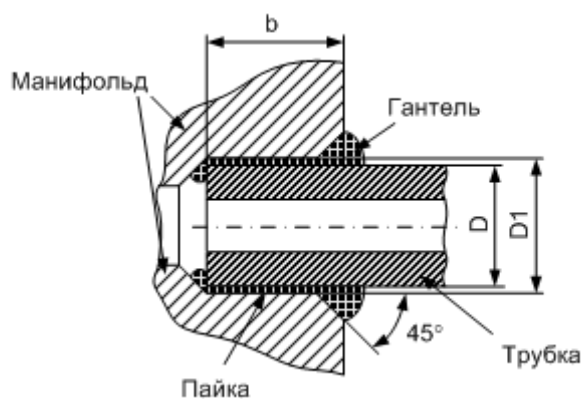


Рисунок 10 – Общий вид паяного соединения

Общая формула расчета прочностью пайки:

$$\tau = \frac{P}{F},$$

где  $P$  – сила давление на трубку;

$F$  – площадь пайки;

$\tau$  – максимальное давления среза.

Расчет проводим для трубок диаметром 4 и 6 мм:

Трубка Ø4мм со стенкой 1мм. Расчет силы давления на поперечную площадь трубки:

$$P = P_c S ,$$
$$P = 10 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot \frac{4^2}{4} \cdot 10^{-6} = 125,6 \text{ Н.}$$

Расчет длины пайки:

$$b = \frac{P}{\tau \pi d} = \frac{125,6}{2 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 5 \text{ мм.}$$

Трубка Ø6мм со стенкой 1мм. Расчет силы давления на поперечную площадь трубки:

$$P = P_c S ,$$
$$P = 10 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot \frac{6^2}{4} \cdot 10^{-6} = 282,6 \text{ Н.}$$

Расчет длины пайки:

$$b = \frac{P}{\tau \pi d} = \frac{282,6}{2 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 7,5 \text{ мм.}$$

В итоге длина пайки будет составлять 10 мм, для более прочной конструкции.

#### 2.4.6 База-подложка и Манифольды

База-подложка выполняется из сплава Д16 ГОСТ 4784-97 и представляет собой пластину толщиной 2мм. Выбор материала обуславливается простотой его обработки, лёгкостью и доступностью. Отверстия под крепёж манифольдов



выполняются с допуском на межцентровое расстояние  $\pm 0,1$ мм; такую точность легко может обеспечить имеющиеся станки.

Все манифольды выполнены из латуни Л63 ГОСТ 15527-2004. Выбор материала обуславливается простотой его обработки, доступностью, прекрасной паяемостью. Существенным недостатком латуни при сверлении многочисленных отверстий является «подрыв» сверла, однако это далеко не всегда приводит в отбраковке деталей.

**Вывод по разделу 2:** было проведено прогнозирование изменения давления, по данным технического задания были рассчитаны трубки, из расчета следует, что трубки способны выдержать давления, а также имеют дополнительный запас прочности. Также был выполнен расчет добавочного объема перепускного клапана, по добавочному объему был найден объем предварительной контрольной камеры.

					120301.2018.251 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

### 3 КОНСТРУКЦИЯ ПНЕВМОСИСТЕМЫ

Была сконструирована пневмосистема калибратора давления, 3д-модель которых показана на рисунке 11. Чертежи приведены в приложении А.

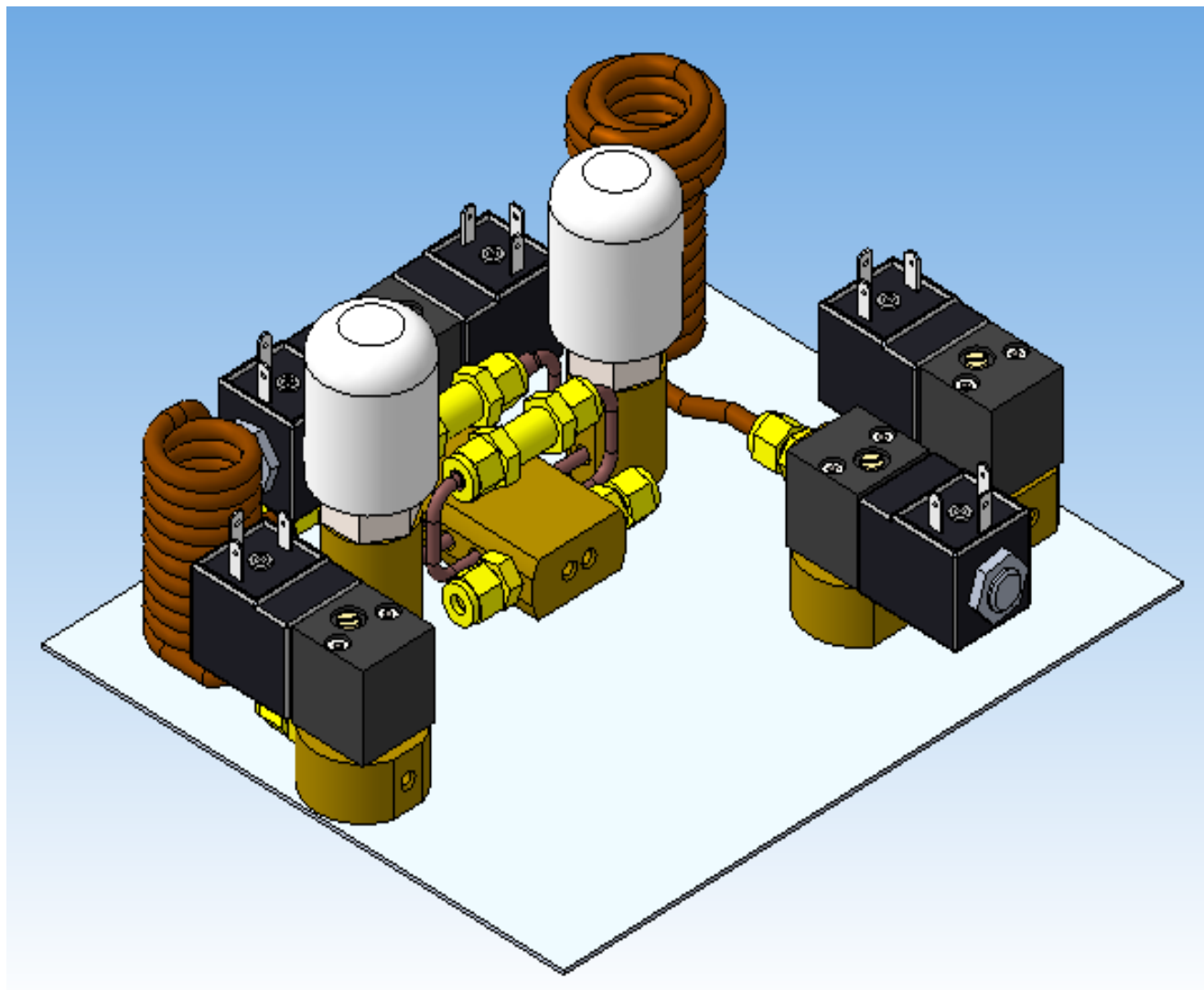


Рисунок 11 – Пневмосистема

Так же были спроектированы детали пневмосистемы. На рисунках 12-17 показаны 3д модели манифольдов. Чертежи приведены в приложении А.

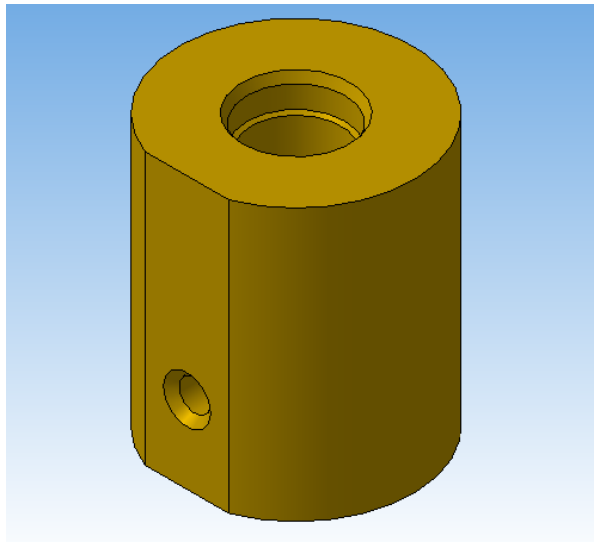


Рисунок 12 – Манифольд датчика давления.

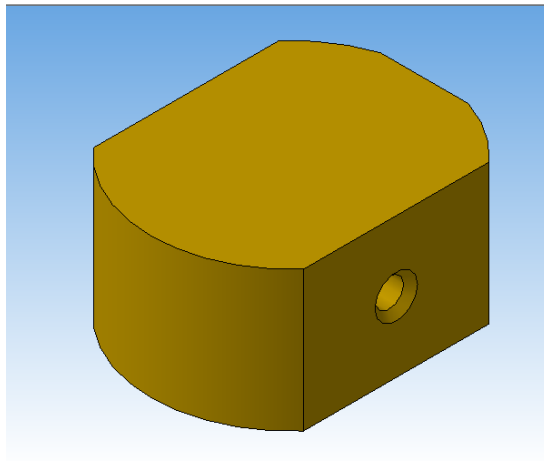


Рисунок 13 – Манифольд тройник.

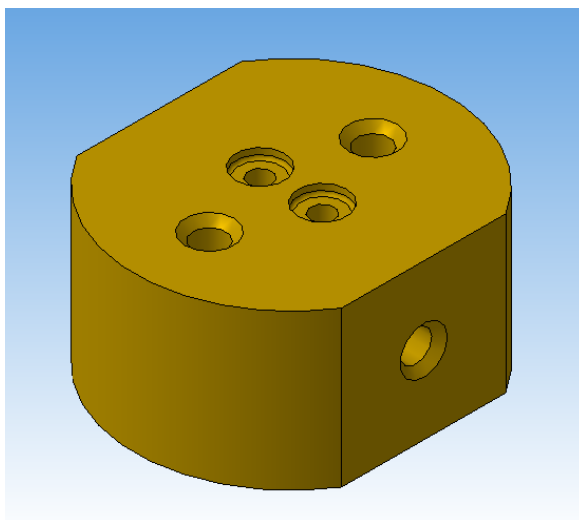


Рисунок 14 – Манифольд входной группы.

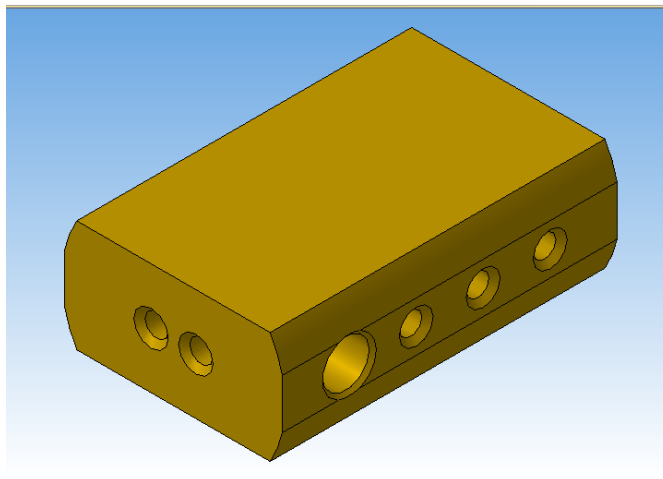


Рисунок 15 – Манифольд обратных клапанов.

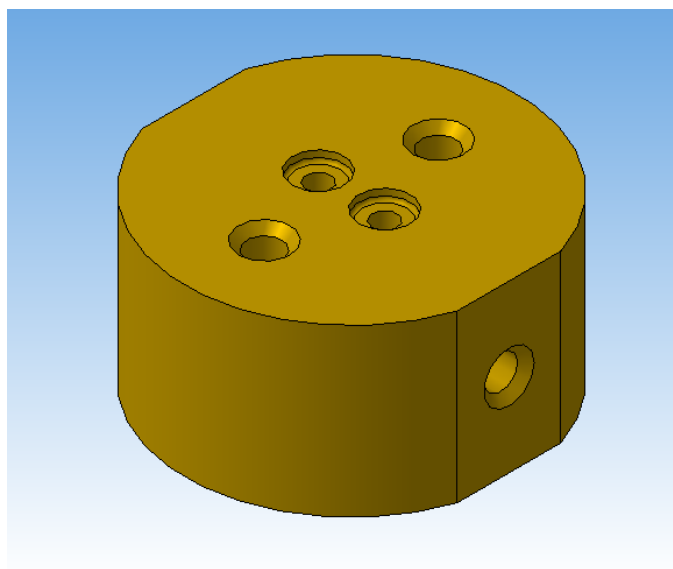


Рисунок 16 – Манифольд выходной группы.

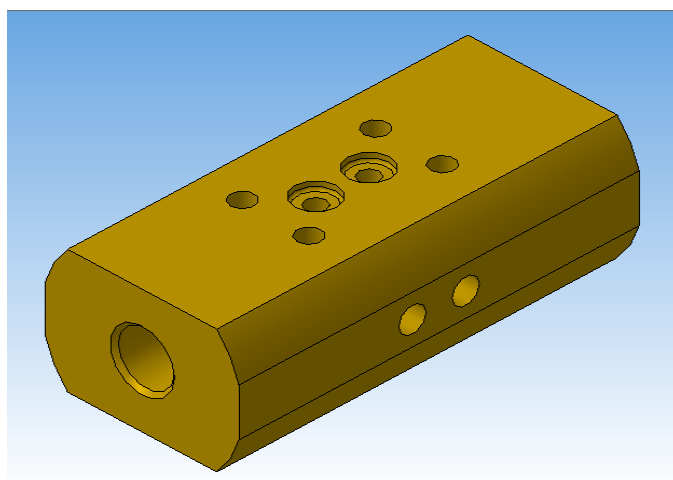


Рисунок 17 – Манифольд перепускного клапана.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

На рисунках 18-21 показаны 3д модели трубок.

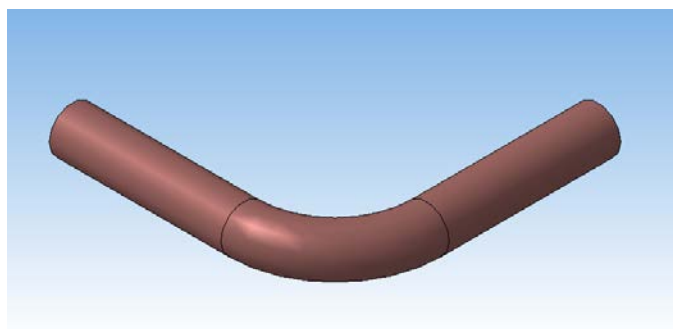


Рисунок 18 – Трубка входной группы.

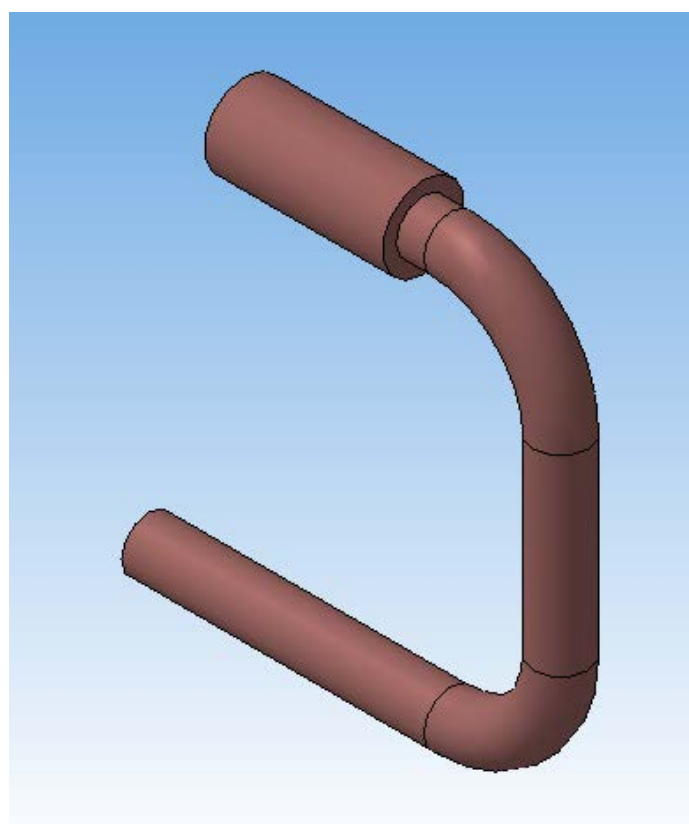


Рисунок 19 – Трубка к обратному клапану.

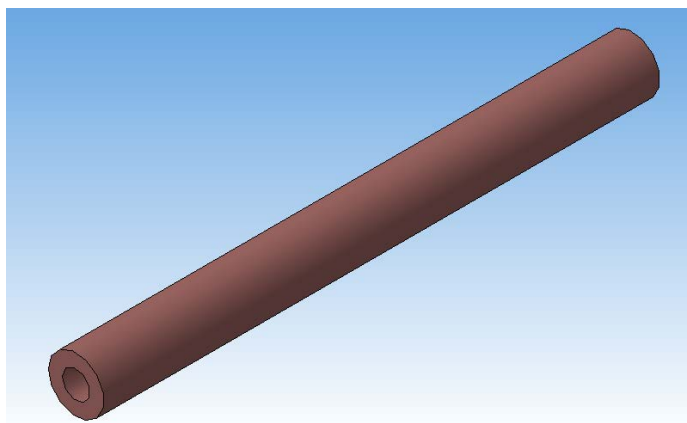


Рисунок 20 – Трубка к датчику давления.

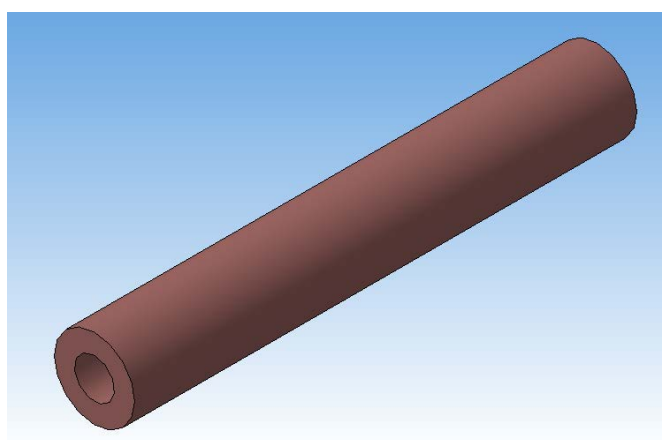


Рисунок 21 – Трубка между манифольдом.

На рисунках 22-23 показаны 3д модели дросселей.

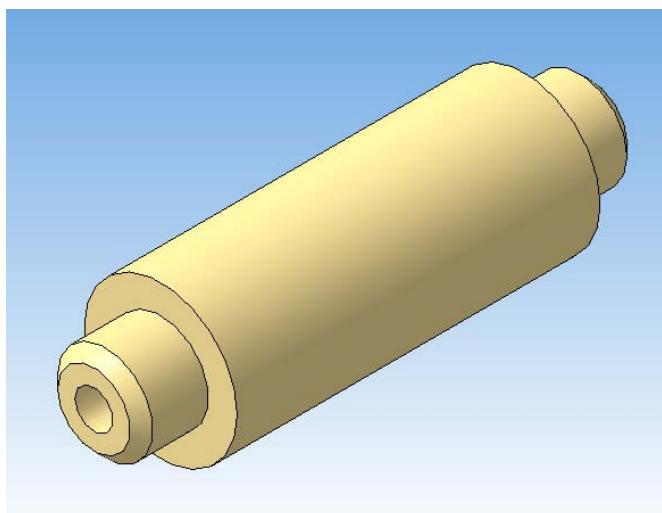


Рисунок 22 – Перепускной дроссель.

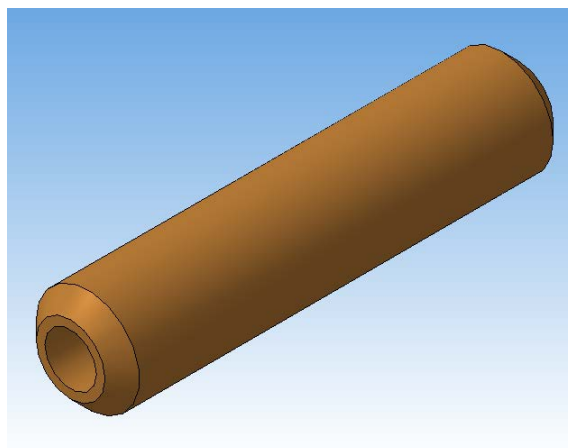


Рисунок 23 – Втулка дроссель.

На рисунке 24 показана 3д модель основного клапана.

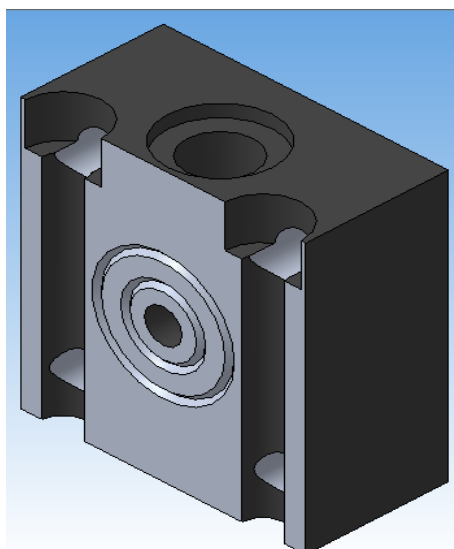


Рисунок 24 – Основной клапан.

На рисунке 25 показана 3д модель подложки.

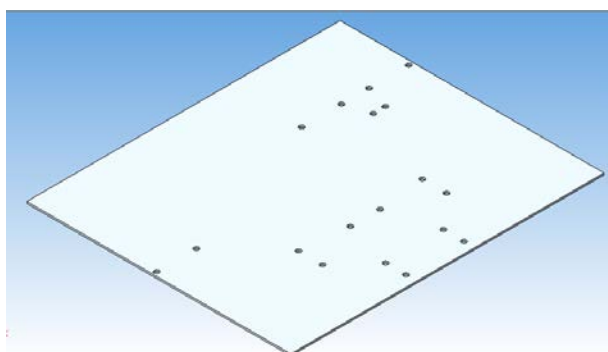


Рисунок 25 – Подложка.

На рисунках 26-27 показаны 3д модели контрольной и предварительной камер.

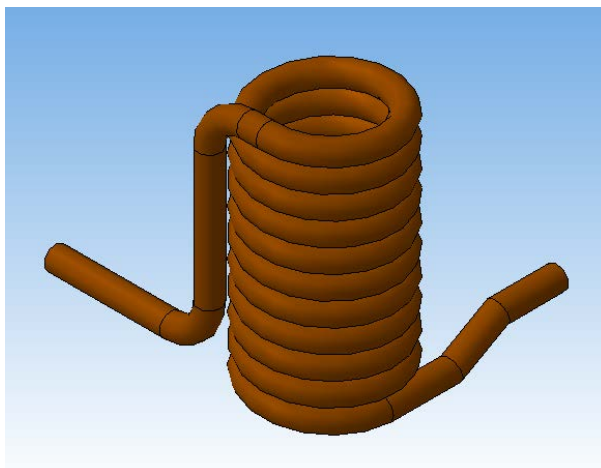


Рисунок 26 – Контрольная камера.

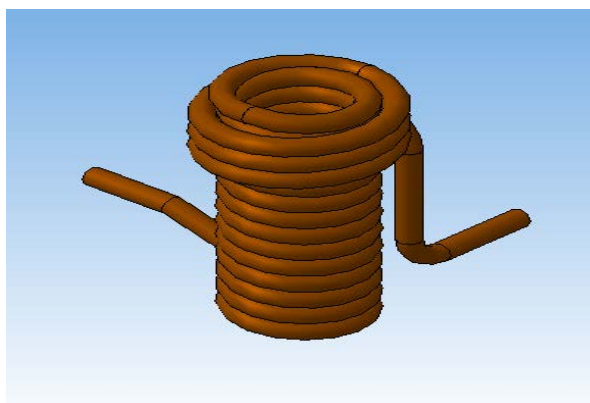


Рисунок 27 – Предварительная камера.

**Вывод по разделу 3:** разработаны 3д модели сборочного чертежа, 6 манифольдов, 4 трубки, 2 дросселя, основной клапан, подложка, контрольная и предварительная камеры, и чертежи к ним.



## 4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Разработка технологического процесса сборки пневмосистемы.

**Комплектование.** Необходимо для проверки наличия и соответствия деталей, сборочных единиц и их количества комплектовочной карте, а также для группировки и распределения по местам сборки.

Оборудование: стол комплектовочный.

**Входной контроль.** Производится для выявления деталей с явными механическими повреждениями: глубокими царапинами, вмятинами, забоинами, непригодных к дальнейшей сборке. Производится визуально с использованием лупы.

Оборудование: стол контролёра.

Инструмент: Лупа 10х ГОСТ 25706-83.

**Обезжиривание** производится для удаления с поверхностей деталей масляных и жировых пятен, которые препятствуют качественному соединению при пайке. Используется ацетон и х\б салфетка. Для удаления вредных испарений ацетона используется вытяжка.

Оборудование: стол слесаря-сборщика, вытяжка.

Инструмент: салфетка х\б ГОСТ 29298-92.

Материалы: Ацетон ГОСТ 2768-84.

**Сборка.** Первый этап является сборка частей пневмосистемы подлежащих пайке и присоединение базы-подложки с помощью винтов М3×5 и М3×8.

Оборудование: стол слесаря-сборщика.

Инструмент: Отвёртка 7810-0965 ГОСТ 17199-88.

**Пайка** позволяет достаточно просто соединить детали. Соединение получается прочным и герметичным. По сравнению со сваркой она даёт значительный выигрыш во времени и позволяет избежать воздействия на детали высоких температур, а также упрощает последующую обработку. Склеивание также представляется нецелесообразным из-за ненадёжности клеевого соединения при колебаниях температур. Для соединения деталей из латуни и

					120301.2018.251 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44



Инструмент: Лупа 10х ГОСТ 25706-83.

**Сборка.** После проверки качества пайки пневмосистемы целесообразно в первую очередь присоединить клапана, т.к. их процедура их сборки наиболее сложна из оставшихся. Клапана присоединяются винтами М1,6×15.

Оборудование: стол слесаря-сборщика.

Инструмент: Отвёртка 7810-0963 ГОСТ 17199-88.

**Сборка.** После сборки клапанов целесообразна сборка модулей давления.

Оборудование: стол слесаря-сборщика.

Инструмент: Ключ 7811-0003 С 1 Х 9ГОСТ 2839-80.

**Сборка.** После сборки модулей давления монтируются фитинги.

Оборудование: стол слесаря-сборщика.

Инструмент: Ключ 7811-0023 С 1 Х 9ГОСТ 2839-80.

**Вывод по разделу 4:** была разработана технология изготовления пневмосистемы, отвечающая требованиям легкости изготовления, прочности и дешевизны производства. Использовалось минимально количество операций для уменьшения времени изготовления.

					120301.2018.251 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной Выпускной Квалификационной Работе был проведен анализ технического задания, рассмотрен принцип работы калибратора давления, после анализа технического задания, была разработана пневмосистема метрологического калибратора давления, проведено прогнозирование изменения давления, выполнен расчёт и выбор параметров основных конструктивных элементов.

Разработаны 3д модели сборочного чертежа, 6 манифольдов, 4 трубки, 2 дросселя, основной клапан, подложка, контрольная и предварительная камеры, и чертежи к ним.

Разработана технология изготовления пневмосистемы, отвечающая требованиям легкости изготовления, прочности и дешевизны производства. Использовалось минимально количество операций для уменьшения времени изготовления.

Данный прибор возможно использовать как мобильное средство задания давления.

Цель работы выполнена, система отвечает техническому заданию.

					120301.2018.251 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калибраторы давления – <http://www.artvik.ru/rus/pressure.html>
2. Метран-530 – <http://www.indelta.ru/kip/kalibratory/metran-kd/kalibrator-kontroller-davleniya-530~zvvooo.html>
3. Элемер-ПКД-160 калибратор давления портативный – [http://www.elemer.ru/production/metrology/pkd\\_160.php](http://www.elemer.ru/production/metrology/pkd_160.php)
4. Mensor CPC8000 – [https://www.wika.ru/cpc8000\\_ru\\_ru.WIKA](https://www.wika.ru/cpc8000_ru_ru.WIKA)
5. Fluke PPC4 – <https://ru.flukecal.com/products/pressure-calibration/automated-pressure-controller-calibrators/pneumatic-pressure-control-2>
6. Прандтль, Л. Гидроаэромеханика / Л. Прандтль — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. - 576 с.
7. Прохоров, А. М. Физическая энциклопедия Т.2 "Добротность - Магнитооптика" / А. М. Прохоров — Изд-во Большая Российская энциклопедия, 1998. - 703с.
8. Орлов, П.И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие. Кн.2 / П.И. Орлов; под.ред. П.Н. Учаева. — 3-е изд., исправл. - Москва: Изд-во Машиностроение, 1988. -544 с.
9. FAS BACOSOL 32MM – [http://fas.ch/products\\_bacosol.asp?sectionID=g&Langue=&Company=](http://fas.ch/products_bacosol.asp?sectionID=g&Langue=&Company=)
10. Иванова, Г.М. Теплотехнические приборы и измерения: учебник для втузов / Г.М. Иванова. - М.:МЭИ, 2005.
11. Петрушин, И.Е. Справочник по пайке / И.Е. Петрушин; 3-е изд., исправл. - Москва: Изд-во Машиностроение, 1988. -348 с.
12. Алферов, С.М. Моделирование датчика давления для настройки манометров / С.М. Алферов. - Томск: Изд-во Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. -193-198 с.
13. Фрайден, Дж. Современные датчики: справочник / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2005. – 592с.

					120301.2018.251 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

14. СТО ЮУрГУ 04-2008. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

15. Кузнецов, Ю.В. Сжатый воздух/ Ю.В. Кузнецов, М.Ю. Кузнецов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 512с.

					120301.2018.251 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49



