

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  
Зав. кафедры ИнИТ  
\_\_\_\_\_ А.Л. Шестаков  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ  
ДЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО КАЛИБРАТОРА ДАВЛЕНИЯ**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ЮУрГУ–120301.2018.255 ПЗ ВКР

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

Автор,  
студент группы КЭ-475  
\_\_\_\_\_ А. А. Куликов  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

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

## АННОТАЦИЯ

Куликов А.А. Проектирование системы питания сжатым воздухом для пневматического калибратора давления – Челябинск: ЮУрГУ, КЭ-475; 2018, 110 с. 56 ил., библиогр. список – 40 наим., 1 прил.

В работе была спроектирована пневматическая схема питания устройства, рассчитаны и подобраны требуемые элементы системы питания с последующим их проектированием и взаимным расположением в корпусе.

В связи с экономической целесообразностью выполнен раздел с разработкой технологических процессов (ТП):

- 1) доработка штуцера выходного фильтра системы питания;
- 2) изготовление переходника для фильтра;
- 3) доработка стакана фильтра;
- 4) сборка выходного фильтра.

В ходе выпускной квалификационной работы было использовано программное обеспечение: MS Office 2016, SOLIDWORKS 2016, КОМПАС-3D V17 Учебная версия, Mathcad 14.

По результатам работы была рассчитана и спроектирована система питания сжатым воздухом для пневматического калибратора давления.

					ЮУрГУ 120301.2018.255.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Куликов А.А.			Проектирование системы питания сжатым воздухом для пневматического калибратора давления	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Лысова А.А.					6	
Н. контр.		Лысова А.А.				ЮУрГУ		
Утв.		Лапин А.П.				Кафедра ИнИТ		

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	9
1. ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТЫ.....	11
1.1 Анализ технического задания .....	11
1.2 Обзор аналогов систем питания.....	11
1.2.1 Метран СП/6В и СП/10-4 Мпа .....	12
1.2.2 Пневматические системы питания ЭлМетро-ЭКД2-36-50 и ЭлМетро-ЭКД2-65-30.....	13
1.3 Обзор калибраторов давления.....	14
1.3.1 Пневматические калибраторы давления серии Метран-500 Воздух....	15
1.3.2 Калибратор-контроллер давления ЭлМетро-Паскаль .....	18
1.4 Разработка пневматической схемы системы питания .....	21
1.5 Назначение принцип действия компрессора .....	23
1.6 Назначение и принцип действия охлаждающего устройства .....	29
1.7 Назначение и принцип действия обратного клапана .....	30
1.8 Назначение и принцип действия ресивера.....	31
1.9 Назначение и принцип действия прессостата.....	32
1.10 Назначение и принцип действия манометра.....	33
1.11 Назначение и принцип действия вентиля .....	34
1.12 Назначение и принцип пневматического распределителя .....	35
1.13 Назначение и принцип устройств очистки сжатого воздуха .....	37
2. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ. ВЫБОР КОМПЛЕКТУЮЩИХ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ.....	42
2.1 Расчет и выбор компрессоров. ....	42
2.1.1 Тепловой расчет компрессоров.....	45
2.1.2 Определение тепловой мощности, выделяемой компрессорами в процессе сжатия воздуха.....	47
2.2 Расчет и выбор устройства охлаждения.....	50

2.2.1	Тепловой расчет охладителя. ....	51
2.2.2	Расчет необходимой площади змеевика. ....	52
2.2.3	Расчет и выбор вентилятора. ....	56
2.3	Выбор обратных клапанов. ....	57
2.4	Расчет и выбор ресиверов. ....	58
2.5	Выбор прессостатов. ....	60
2.5.1	Выбор прессостата для первой ступени системы питания. ....	60
2.5.2	Выбор прессостатов для второй ступени системы питания. ....	60
2.6	Выбор манометров. ....	61
2.7	Выбор вентиляей. ....	61
2.8	Выбор пневматического распределителя. ....	62
2.9	Выбор устройств очистки сжатого воздуха. ....	62
2.9.1	Выбор фильтров для первой ступени системы питания. ....	62
2.9.2	Выбор фильтра для второй ступени системы питания. ....	63
2.10	Выбор трубок и фитингов. ....	63
3.	ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ. ....	65
3.1	Проектирование охлаждающего устройства. ....	65
3.2	Проектирование элементов системы питания. ....	68
3.2	Расположение элементов в корпусе системы питания. ....	70
4.	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ. ....	76
4.1	Анализ исходных данных. ....	76
4.2	Технологический процесс доработки штуцера. ....	77
4.3	Технологический процесс изготовления переходника. ....	80
4.4	Технологический процесс доработки стакана. ....	85
4.5	Технологический процесс сборки фильтра. ....	88
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ....	92
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК. ....	94
	ПРИЛОЖЕНИЯ. ....	97
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Спецификации, сборочные чертежи, детализовка. ....	97

## ВВЕДЕНИЕ

На настоящий момент сложно представить современное промышленное предприятие, где не применялись бы средства измерения давления (СИД). Перечень таких приборов разнообразен – от стрелочных манометров до высокоточных датчиков давления. Для поддержки в работоспособном состоянии широкого спектра приборов необходимо систематически совершать их поверку и калибровку. [1].

Калибраторы давления – это эталонные приборы, в задачи которых входят поверка и калибровка средств измерения давления, имеющих выходные сигналы, непосредственно отображающих данные о значениях давления, а также, опционально, имеющих и другие возможные аналоговые выходные характеристики, такие как: состояние реле, ток и напряжение [2].

Вариативность технических параметров устройства имеет зависимость от комплектации калибратора. Себестоимость оборудования определяется, в том числе, и общим количеством модулей давления, благодаря которым производится калибровка. Обычно, как правило, один из модулей является внутренним, а все остальные – внешними.

Калибраторы подразделяются на следующие группы:

- грузопоршневые;
- цифровые;
- ручные регуляторы;
- калибраторы-контроллеры.

При рассмотрении перечня исходных данных было принято решение о дальнейшем проектировании системы питания для поршневого калибратора давления. Калибраторы данного вида считаются первичными эталонами из-за особенностей своего устройства. Они используются для поверки (калибровки) средств измерений давления и измерительных преобразователей давления и разности давления метрологическими службами предприятий.

Принцип работы калибратора, состоящего из устройства для создания давления и измерительной поршневой системы, основан на передаче давления, создаваемого измерительной поршневой системой в газовой среде [3].

Относительно простое устройство и принцип действия позволяют обеспечивать сведение погрешности к минимуму, благодаря чему пневматические поршневые калибраторы давления выделяются своей максимальной точностью при замерах и при задании давления. Их применение дает возможность совершать калибровку и поверку высокоточных приборов на особо ответственных участках.

В соответствии с методическими указаниями по поверке датчиков суммарная погрешность калибраторов должна быть по крайней мере в два раза меньше погрешности поверяемого датчика. Следовательно, такие калибраторы должны обеспечивать высокостабильное и точное опорное давление для калибровки и поверки датчиков давления [4].

Новизна проектируемой системы питания сжатым воздухом заключается в том, что эта система питания является мобильной, и ее можно использовать по назначению для проверок в условиях отсутствия на предприятиях центральной сети питания сжатым воздухом, либо невозможности применения баллонов высокого давления с периодической заправкой.

**Цель выпускной квалификационной работы** – рассчитать и спроектировать систему, питающую пневматический калибратор сжатым воздухом.

**Задачи выпускной квалификационной работы:**

- анализ технического задания;
- обзор существующих аналогов систем питания сжатым воздухом, калибраторов давления, питающихся от них;
- составление пневматической схемы питания для калибратора давления;
- расчет комплектующих системы питания;
- выбор элементов системы питания;
- проектирование 3D-модели системы питания;
- выполнение рабочих и сборочных чертежей.

# 1. ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Для обеспечения питания пневматических калибраторов предназначены системы питания сжатым воздухом. На предприятиях, где широко применяются пневматические приводы и системы, обычно существует центральная сеть питания сжатым воздухом. Диапазон давлений в ней, принятый как у нас в стране, так и за рубежом, составляет 0,4 — 1,0 МПа (4 — 10 бар) [5].

При условиях недоступности такой сети и недопустимости применения баллонов высокого давления с регулярной их заправкой, либо несоответствия параметров питания требуемым, обеспечение потребителей сжатым воздухом осуществляется отдельными небольшими пневмосистемами, устанавливаемыми непосредственно возле потребителя.

## 1.1 Анализ технического задания

Из-за требуемого рабочего питания (от исполнения калибратора) – 0,25 МПа, 0,8 МПа, 2,5 МПа, 4,0 МПа принято решение о проектировании двухступенчатой системы питания, на выходе первой ступени которой давление составляет 1,0 МПа, на выходе второй – 4,0 МПа. Таким образом, мы разбиваем диапазон давлений питания калибратора от 0,25 до 4,0 МПа на два поддиапазона.

Если требуемое калибратором давление питания меньше 1,0 МПа и 4,0 МПа, то на выходе системы питания ставится редуктор. Для уменьшения расхода на выходе системы питания устанавливается регулятор расхода.

Для обеспечения необходимой степени фильтрации воздуха в конструкции системы питания на выходе обеих ступеней устанавливаются фильтры.

Питание калибратора должно осуществляться воздухом с температурой  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ . Поэтому необходимо предусмотреть охлаждающие устройства на выходе из компрессоров обеих ступеней.

## 1.2 Обзор аналогов систем питания

Был проведен поиск по задаче исследования с целью нахождения аналогов из систем питания и выбора из них наиболее близких решений, таких как:

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

пневматические системы питания эталонов избыточного давления Метран:

- СП/6В;
- СП/10-4 Мпа;

пневматические системы питания ЭлМетро-ЭКД:

- ЭКД2-36-50
- ЭКД2-65-30

### 1.2.1 Метран СП/6В и СП/10-4 Мпа

Приведенные системы питания представлены на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Пневматические системы питания эталонов избыточного давления Метран

Устройство и технические характеристики систем питания представлены в таблице 1.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Таблица 1 – Устройство и технические характеристики СП/6В и СП/10-4 МПа

Модель	СП/6В	СП/10-4 МПа
Диапазон регулирования выходного давления, МПа	0,05...1,73	1...4
Расход воздуха, л/мин	25	10
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	750х460х950	750х460х950
Масса, кг	100	102

Как видно из приведенных технических характеристик, модели СП/6В и СП/10-4 МПа близки к требуемым, но не удовлетворяют всем установленным в техническом задании параметрам, таким как: рабочее давление, габаритные размеры и масса системы питания.

### 1.2.2 Пневматические системы питания ЭлМетро-ЭКД2-36-50 и ЭлМетро-ЭКД2-65-30

Приведенные системы питания представлены на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Пневматическая система питания ЭлМетро-ЭКД

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Устройство и технические характеристики систем питания приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Устройство и технические характеристики ЭКД2-36-50 и ЭКД2-65-30

<b>Модель</b>	<b>ЭКД2-36-50</b>	<b>ЭКД2-65-30</b>
Диапазон регулирования выходного давления, МПа	0,1...3,6	0,2...6,5
Расход воздуха, л/мин	30	20
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	2x500x450x400	460x630x700 +480x330x330
Масса, кг	65	72

В данном случае параметры также довольно близки, однако в первом варианте отсутствует необходимое максимальное рабочее давление, и у каждой из моделей габаритные размеры значительно превосходят заданные в исходных данных.

### 1.3 Обзор калибраторов давления

Вышеприведенные пневматические системы могут быть использованы для питания калибраторов и контроллеров давления:

- ЭлМетро-Паскаль;
- Воздух;
- PACE 5000;
- DPI515;
- PPC4;
- WIKA CPC6000, CPC8000;
- Метран-500 Воздух.

Рассмотрим их характеристики, устройства и принцип действия.

### 1.3.1 Пневматические калибраторы давления серии Метран-500 Воздух

Рассматриваемые калибраторы давления представлены на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Метран-504-Воздух и Метран-505-Воздух

Основные характеристики:

- рабочая среда – воздух;
- диапазоны воспроизведения
  - избыточного давления – 0,02...1000 кПа;
  - избыточного давления относительно опорного 300 Па (разности давлений) – 0,005...40 кПа;
- класс точности калибраторов – 0,01; 0,015; 0,02; 0,05.

Условное изображения устройства и принципа действия представлены на рисунке 1.4.

**Устройство.** Основными узлами пневмокалибратора давления являются нижеследующие (см. Рисунок 1.4):

- преобразователь силы в давление (междроссельная камера, состоящая из поршня 1, который имеет форму небольшого шара либо усеченного конуса, соплом 2 и корпусом сопла 3);
- грузоприемный механизм, представляющий собой навеску 7 вкупе с грузами 8 и устанавливающийся на поршень 1;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

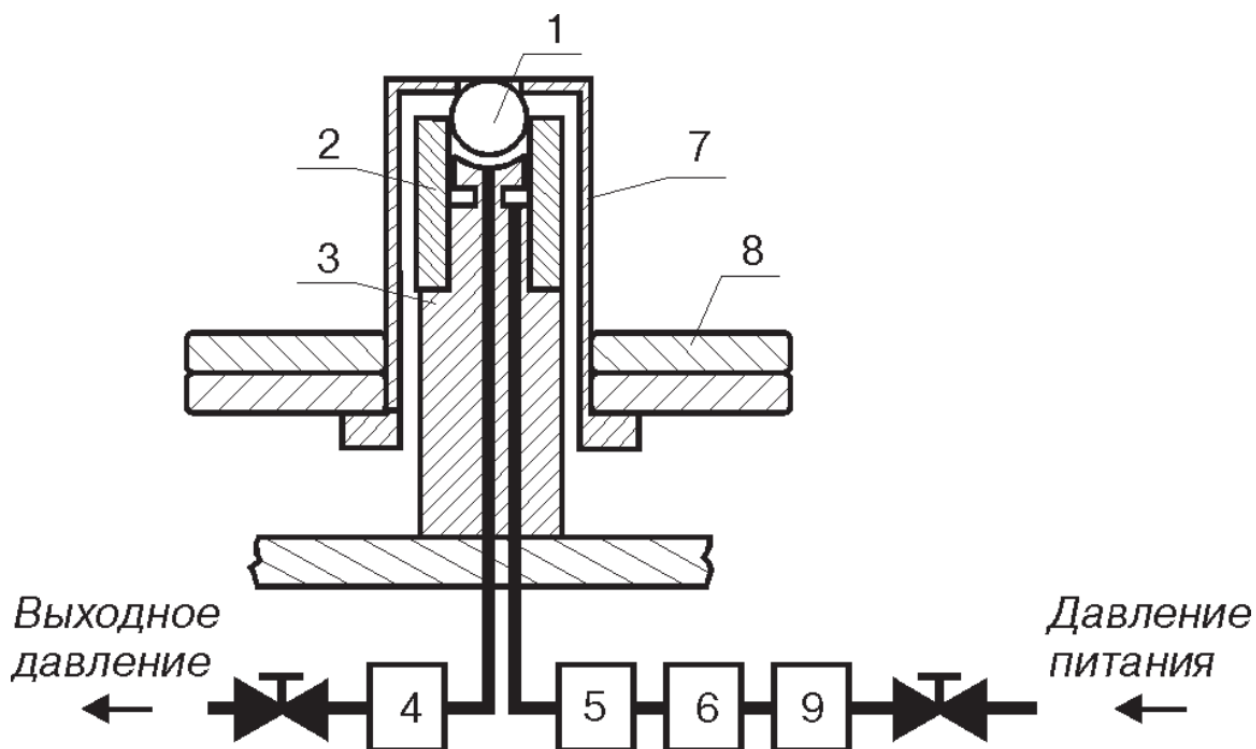


Рисунок 1.4 – Устройство и принцип действия

- пневматические емкости 4, 5 — для гарантии динамической стабильности выходного давления самого калибратора);
- двухкаскадный регулятор расхода 6 (предназначен для авторегулирования расхода и давление воздуха, а также для обеспечения высокой степени повторяемости показателей выходного давления);
- узел регулировки давления питания 9 (основными составляющими являются манометр и редуктор, который регулирует установку и уровень давления воздуха питания основного устройства).

**Принцип действия.** Ключевой порядок действия пневмокалибратора базируется на динамическом взаимодействии конического (либо сферического) поршня с воздушным потоком, появляющимся из сопла, в котором происходит самоуравновешивание и самоцентрирование поршня.

Воздух питания под воздействием давления протекает сквозь узел регулирования давления питания 9, двухкаскадный регулятор расхода 6, а также пневматическую емкость 5, поступая в последующем в зону междроссельной камеры преобразователя.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

В зоне вышеназванной камеры сила  $M \cdot g$ , производимая весом поршня 1, навески 7 и грузов 8, трансформируется в пневматическое выходное давление  $P$ :

$$P = M \cdot g / F_{\text{эф}},$$

где  $M$  – масса поршня с навеской и грузами;  $g$  – ускорение свободного падения;  $F_{\text{эф}}$  – эффективная площадь поршневой системы.

Давление  $P$  поступает на выход пневмокалибратора через пневматическую емкость 4.

С показателями пределов допускаемой погрешности калибраторов можно ознакомиться в таблице 3.

Таблица 3 – Пределы допускаемой погрешности

Модель с учетом модификации	Диапазон воспроизведения давления, кПа	Пределы допускаемой погрешности			
		Класс точности 0,01	Класс точности 0,015	Класс точности 0,02	Класс точности 0,05
Метран-505 Воздух-I	0,005...0,4	-	$\pm 0,10$ Па	$\pm 0,12$ Па	-
	0,4...2	-	$\pm 0,025\%P_n$	$\pm 0,03\%P_n$	-
	2...25 2...40	-	$\pm 0,015\%P_n$	$\pm 0,02\%P_n$	-
Метран-505 Воздух-II	0,02...0,4	-	$\pm 0,10$ Па	$\pm 0,12$ Па	-
	0,4...2	-	$\pm 0,025\%P_n$	$\pm 0,03\%P_n$	-
	2...25 2...40	-	$\pm 0,015\%P_n$	$\pm 0,02\%P_n$	-
Метран-504 Воздух-III	0,6...3	$\pm 0,3$ Па	$\pm 0,45$ Па	$\pm 0,6$ Па	-
	3...63	$\pm 0,01\%P_n$	$\pm 0,015\%P_n$	$\pm 0,02\%P_n$	-
Метран-504 Воздух-I	3...400	$\pm 0,01\%P_n$	$\pm 0,015\%P_n$	0,02% $P_n$	-
Метран-504 Воздух-II	40...1000				

$P_n$  – номинальное значение воспроизводимого калибраторами давления.

Питание калибраторов с общими данными приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Питание калибраторов и общие данные

Модель с учетом модификации	Метран-505 Воздух				Метран-504 Воздух		
	-I		-II		-I	-II	-III
	до 25 кПа	до 40 кПа	до 25 кПа	до 40 кПа			
Давление воздуха питания, кПа	300-400				700-800	1500±50	300-400
Расход воздуха питания, не более, л/мин	6				8	20	3
Масса прибора, не более, кг	13,5		11		8,5	7,5	9,5

### 1.3.2 Калибратор-контроллер давления ЭлМетро-Паскаль

Внешний вид приведенного калибратора представлен на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Калибратор-контроллер давления ЭлМетро-Паскаль

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Основные характеристики:

- высокоточный автоматический контроллер давления (разрежения) в диапазоне от 0 до 3,5 МПа и от -0,1 до 2 МПа;
- возможность создания высокопроизводительных и высокоточных калибровочных комплексов, и метрологических стендов;
- обеспечивает поверку прецизионных датчиков давления с  $Y=0,075\%$  и более;
- нестабильность поддержания давления не более 0,002 % от ВПИ.

**Устройство.** В наиболее общем виде КД является задатчиком-измерителем разрежения (давления), основными элементами которого являются следующие три блока:

- механизм для прецизионного регулирования давления;
- эталонный модуль давления;
- микропроцессорный управляющий блок.

**Принцип действия.** Управление осуществляется посредством клавиатуры. Сотрудник выбирает необходимый режим задания и назначения давления, которые необходимо будет воспроизводить калибратору-контроллеру давления Элметро-Паскаль (далее называемому КД).

Через механизмы пневматических распределителей клапанов и емкостей входное давление подается на выход КД. Там, посредством эталонного модуля (встроенного или внешнего) производится его измерение. Выходной сигнал отправляется на вход микропроцессорного блока, регулирующего работу пневматических клапанов. Последние, в свою очередь, управляются по особому алгоритму, пропуская на выход давление питания либо, напротив, спуская выходное давление в атмосферу. Микропроцессорный блок синхронизирует совместную работу пневмоклапанов, что способствует плавности выхода давления на целевое (заданное) значение без необходимости повторного регулирования. Последнее является принципиально важным для проверки вариации датчиков давления и манометров.

При этом на ЖКИ КД в одновременном порядке отображаются показатели заданного давления и воспроизводимого фактически КД давления на выходе.

**Диапазоны измерения и воспроизведения давления.** В случае с эталонными модулями избыточного давления выделяют в общей сумме шесть диапазонов измерений:  $0 \div 6,3$  кПа,  $0 \div 3,5$  МПа;  $0 \div 2,0$  МПа; а также  $0 \div 0,7$  МПа;  $0 \div 0,2$  МПа и  $0 \div 0,1$  МПа.

Эталонные модули разрежения всего обладают пятью измерительными диапазонами:  $-0,1 \div 2,0$  МПа;  $-0,1 \div 0,7$  МПа;  $-0,1 \div 0,2$  МПа;  $-0,1 \div 0,1$  МПа и  $-6,3 \div 6,3$  кПа.

При этом внутри диапазона измерения имеются также поддиапазоны, число которых варьируется от двух до трех, что зависит от разновидности модуля. Данные поддиапазоны обладают меньшими показателями измерительных границ, а также собственной индивидуальной калибровки. Показатели параметров последней находятся в памяти эталонного модуля. Данное обстоятельство дает возможность расширить рамки измерений, в пределе которых давление обладает с максимальной точностью.

**Погрешности измерений.** В общей сумме у эталонных модулей давления выделяют три исполнения по базовой погрешности. Исходя из показателей диапазона, в котором находится воспроизводимое давление  $P_i$ , нормы погрешности следующие:

- относительная, формирующаяся от показателя  $P_i$  в пределе от 40 % до 100 % от верхних показателей измерения  $P_{ВПИ}$  предела измерений (3,5 ВПИ МПа либо 2,0 МПа, либо 0,7 МПа и т.д.) – либо же поддиапазона измерения  $P_{ВПИП}$ ;
- приведенная погрешность, формируемая от нормирующего значения, равняющегося 40%  $P_{ВПИ}$  либо 40%  $P_{ВПИП}$ .

Абсолютный показатель погрешности  $\Delta P$  рассчитывается соответствующим образом:

$$\Delta P_{i1} = Y_{Баз} \cdot 0,01 \cdot P_{i1},$$

где  $40\% \cdot P_{ВПИ} \leq P_{i1} \leq 100\% P_{ВПИ}$ .

										Лист
										20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



$$\Delta P_{i2} = Y_{\text{Баз}} \cdot 0,01 \cdot 0,4 \cdot P_{\text{ВПИ}},$$

где  $0 \leq P_{i2} \leq 0,4 \cdot P_{\text{ВПИ}}$ .

Для наглядности, погрешность измерений представлена на графике (Рисунок 1.6).

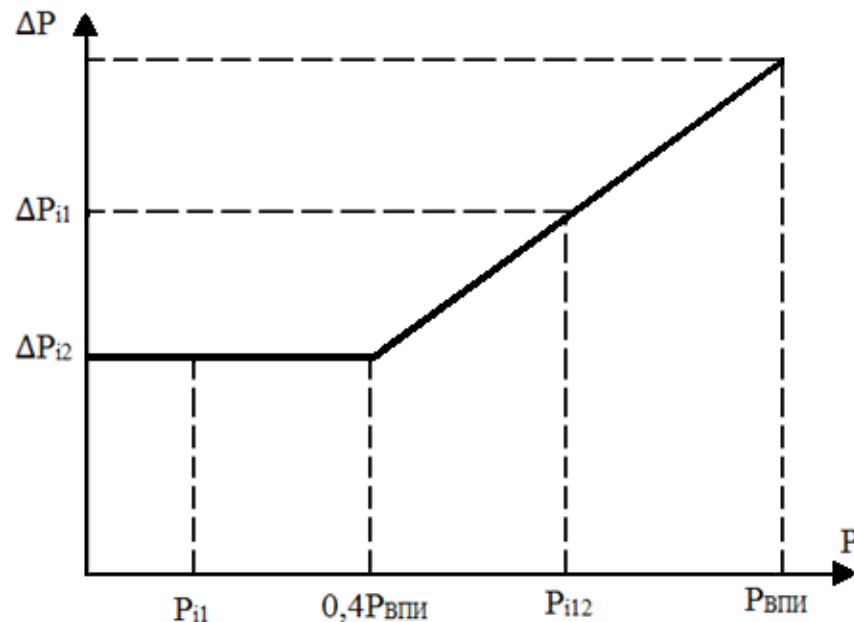


Рисунок 1.6 – График абсолютной погрешности

Исходя из того, что наиболее близкие по заданным качествам прототипы пневматических систем питания калибраторов давления не удовлетворяют своими характеристиками всем приведенным в техническом задании параметрам, было принято решение самостоятельно рассчитать элементы питания, на их основе подобрать комплектующие и спроектировать систему питания (определить структуру, обозначив перечень элементов, входящими в нее, и установить связь между ними).

#### 1.4 Разработка пневматической схемы системы питания

Исходя из анализа ТЗ, построим пневматическую схему системы питания (Рисунок 1.7).

Условные графические обозначение элементов на пневматической схеме представлены в таблице 5.

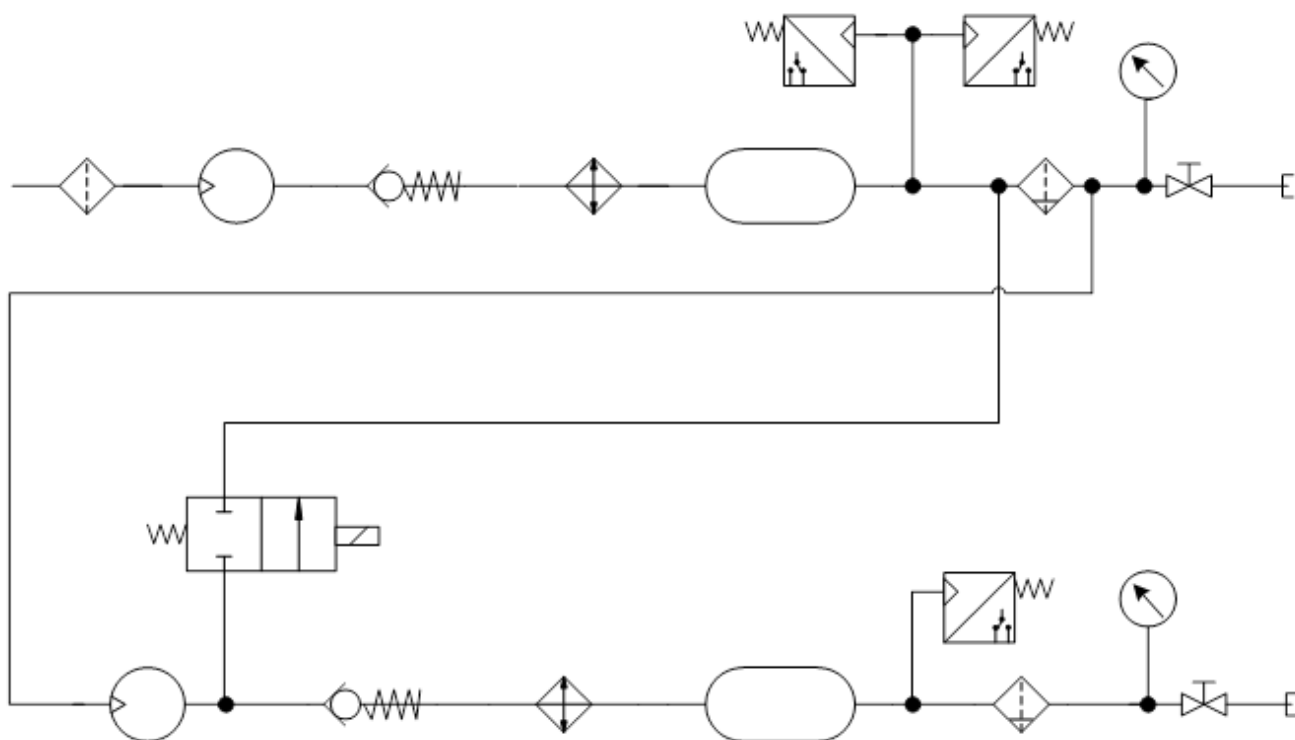


Рисунок 1.7 – Пневматическая схема системы питания сжатым воздухом

Таблица 5 – Графические обозначения элементов на пневматической схеме

Название элемента	Обозначение	Название элемента	Обозначение
Фильтр		Реле давления	
Компрессор		Фильтр – влагоотделитель с ручным отводом конденсата	
Обратный клапан		Манометр	
Охладитель		Вентиль	
Ресивер		Нормально закрытый 2/2-распределитель (с управлением от электромагнита с одной обмоткой)	

**Принцип работы.** Воздух поступает на вход компрессора первой ступени через фильтр. Из компрессора сжатый воздух через обратный клапан и охладитель нагнетается в ресивер, к которому подключены прессостаты. Далее воздух через фильтр-влажнотделитель подается на манометр, вынесенный на переднюю панель системы питания, и через вентиль – на выходной штуцер первой ступени, а также на вход второй ступени.

На выходе компрессора второй ступени установлен нормально закрытый клапан, соединенный с ресивером первой ступени. Аналогично первой ступени воздух из компрессора, пройдя через обратный клапан и охладитель, поступает в ресивер второй ступени, соединенный с прессостатом. Далее воздух через выходной фильтр-влажнотделитель подается на манометр, вынесенный на переднюю панель системы питания, и через вентиль – на выходной штуцер второй ступени.

### **1.5 Назначение принцип действия компрессора**

Компрессор может быть использован для сжатия газообразной среды или для получения вакуума. Впускные и выпускные окна цилиндра соединены с всасывающими и нагнетательными клапанами. [6]. Сжатым газом компрессор снабжает пневматические системы и устройства [7].

Исходя из физического принципа действия, выделяют компрессоры двух видов: объемный и динамический. Более широкой является классификация, исходящая из конструктивных особенностей устройств (Рисунок 1.8).

В устройствах-компрессорах объемного типа, которые действуют по принципу вытеснения, воздух замыкается в зоне рабочей камеры, после чего производится уменьшение ее объема, по причине которого происходит соединение камеры с нагнетательным (отводящим) трубопроводом.

В устройствах динамического типа подача воздуха происходит на рабочий орган, который в свою очередь сообщает ему кинетическую энергию, преобразующуюся на выходе компрессора в потенциальную энергию давления.

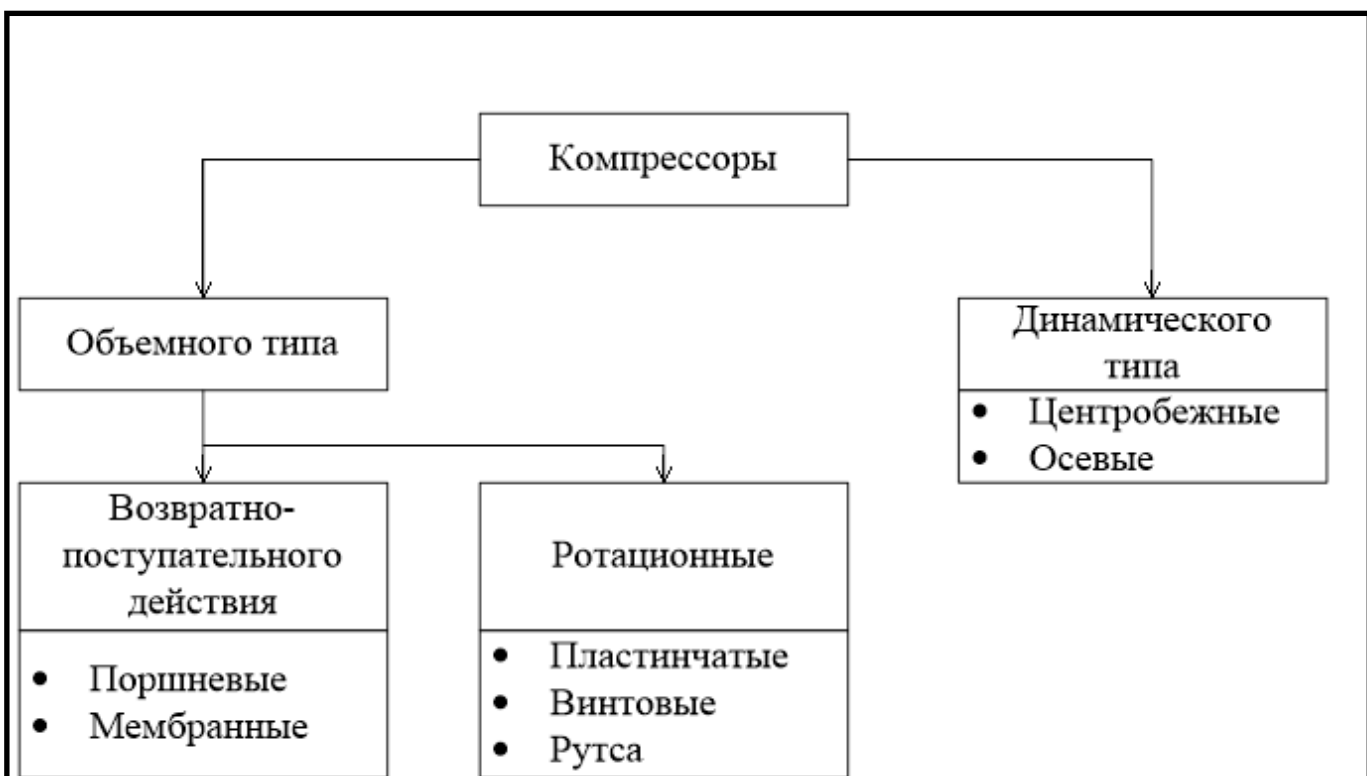


Рисунок 1.8 – Классификация компрессоров

Довольно большое распространение получили объемные компрессоры, среди которых больше всего используются поршневые разновидности. Среди них выделяют механизмы двойного и простого действия, много- и одноступенчатые, много- и одноцилиндровые, а также с наличием охлаждения водяного либо воздушного типа.

К ключевым составляющими поршневого компрессора (Рисунок 1.9) причисляют следующие компоненты: цилиндр 2 с нагнетательным 7 и всасывающим 1 клапанами в крышке 6; поршень 3; кривошипно-шатунный механизм 5, преобразующий вращательное движение приводного вала 4 в поршневые движения возвратно-поступательного характера.

При поступлении поршня к нижней «мертвой точке» (обратный ход – см. Рисунок 1.9, а) действующая компрессорная камера, сформированная замкнутым объемом между поршнем 3 и крышкой 6 цилиндра, начинает увеличиваться и в последующем в ней образуется вакуум. По причине воздействия атмосферного давления происходит открытие всасывающего клапана 1, сквозь который в зону цилиндра подается воздух.

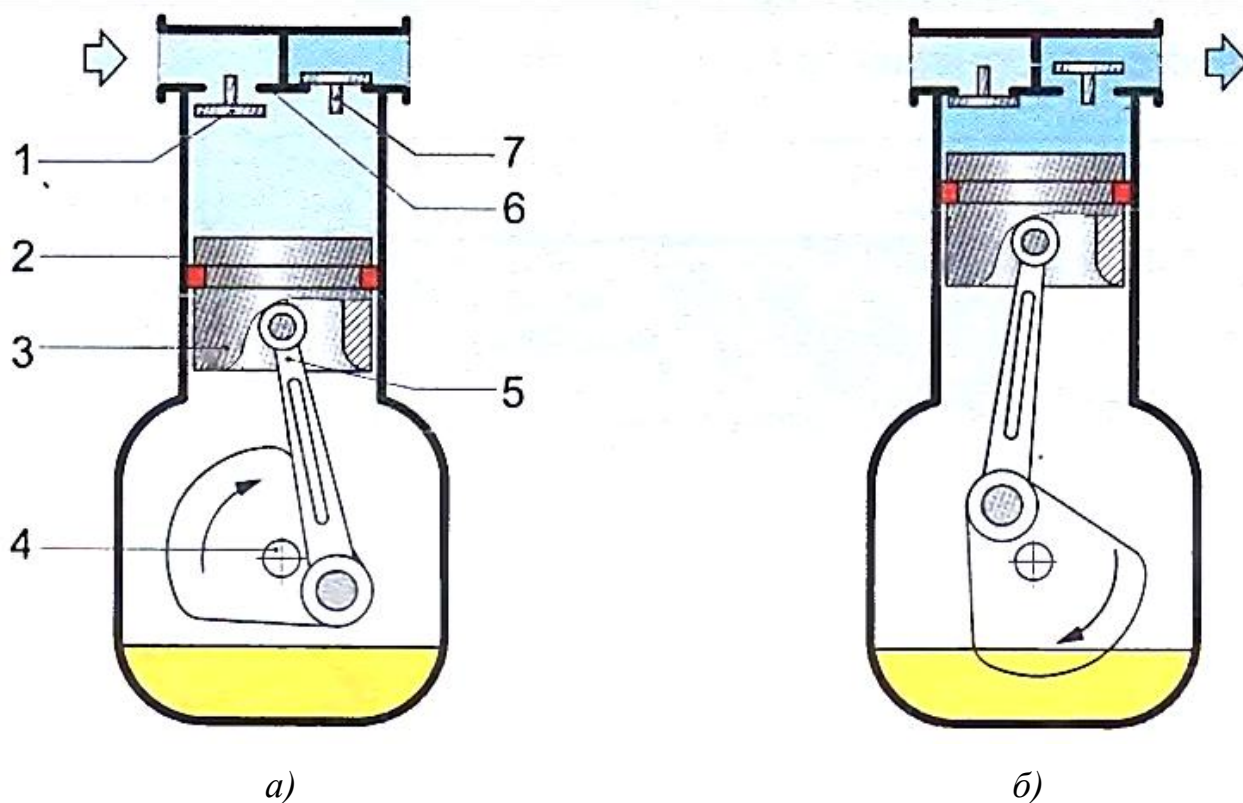


Рисунок 1.9 – Поршневой компрессор

В данный момент нагнетательный клапан 7 поддерживается закрытым вследствие воздействия вакуума в действующей камере, а также по причине высокого давления в нагнетательном трубопроводе. При достижении поршнем 3 крайнего положения наблюдается начало процесса его движения к верхней «мертвой точке» (прямой ход – см. Рисунок 1.9, б).

При этом происходит уменьшение объема камеры вкуче с возрастанием в ней давления, по причине чего происходит закрытие всасывающего клапана. Открытие нагнетательного клапана происходит в том случае, если давление в цилиндре будет больше показателей давления в зоне линии нагнетания. Весь цикл подобного компрессора производится за два хода поршня — прямого и обратного, другими словами, за один оборот приводного вала.

Некоторые из основных причин распространенности поршневых компрессоров следующие: невысокая стоимость, подходящие показатели массы и объемов, простота в эксплуатации, простота в обслуживании, а также наличие

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

выходных параметров, которые способны отвечать нужда предприятий малого и среднего типов.

**Критерии выбора компрессора.** В наиболее общем виде выбор подходящего компрессора производится в соответствии со следующими параметрами [8]:

- необходимы типа режима работы;
- показатели максимального рабочего давления;
- объем расходуемого воздуха.

Рассмотрим более подробно каждый из вышеназванных критериев.

**Режим работы компрессора.** С целью не допустить перегревание поршневого компрессора, следует обеспечить ему так называемый отдых. Другими словами, подобный компрессор с самого начала рассчитывается на использование с перерывами, которые должны быть в обязательном порядке. Разберем, каким образом происходит обеспечение необходимого эксплуатационного режима.

В первую очередь, необходимо соблюдение подходящего баланса между средними показателями потребления воздуха и объемной производительностью. Данные показатели взаимосвязаны между собой посредством коэффициента, превышающего единицы для устройств-компрессоров всех серий. Данный факт говорит о том, что подача компрессора всегда обязана быть больше по отношению к среднему потреблению воздуха. При производстве сжатого воздуха в больших объемах, чем расходуется, устройство-компрессор самостоятельно образует задел, который дает ему возможность «отдыхать» время от времени. При этом хранение запасенного сжатого воздуха осуществляется с помощью ресивера.

Учитывая сказанное выше, может возникнуть вопрос, может ли компрессор небольшой производительности, однако со встроенным ресивером больших размеров, заменить собой устройство-компрессор с большей производительностью, но с ресивером меньших размеров? В данном случае может сложиться ощущение, большая емкость ресивера облегчает деятельность компрессора. Тем не менее, данное мнение является заблуждением, поскольку чтобы наполнить ресивер до максимально установленного давления (когда механизм прессостата отключит компрессор) необходимо большое количество

времени. В случае же необоснованного повышения ресиверного объема, устройство-компрессор начнет работать непрерывно на его восполнение, что повлечет за собой выход из допустимо возможного рабочего режима.

Таким образом, для грамотного выбора компрессора для заданного потребления воздуха, необходимо установить его производительность и размер ресивера так, чтобы при использовании выбранный компрессор работал исключительно в том режиме, на который рассчитан. В случае несоответствий рабочего режима и паспортных показателей наблюдается неэффективность эксплуатации устройства, либо сокращение срока его жизни и преждевременный выход из строя.

**Максимальное рабочее давление.** При выборе максимального рабочего давления следует руководствоваться следующим правилом: создаваемое механизмами компрессора давление должно превышать воздухопотребление. Любой компрессор действует подобно следующему: при накачке воздуха до максимально возможного рабочего давления  $P_{\max}$ , устройство-компрессор выключается.

При этом его повторное включение происходит исключительно после снижения показателей давления до давления включения  $P_{\min}$ . Система авторегулирования давления большей части существующих компрессоров отлажена таким образом, чтобы обеспечивать поддержание ресиверного давления с допуском -2 бар от максимального значения, другими словами, общая разница между  $P_{\max}$  и  $P_{\min}$  составляет 2 бар.

Существует также возможность изменить заводские настройки  $P_{\max}$  и  $P_{\min}$ , выбрав подходящие для конкретного случая. Прессостат (реле давления) представляет собой механизм, который управляет процессами включения и выключения компрессора, позволяя изменять и показатели  $P_{\max}$  и  $P_{\min}$  (однако лишь в меньшую сторону), и разницу между ними (имеющую название «дельта»). Тем не менее, желательно все же не изменять заводские настройки реле давления, а при необходимости снизить показатели давления лучше установить редукторы (регуляторы давления) - прямо перед воздухопотребителями.

										Лист
										27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Следует также учесть, что во время движения воздуха от компрессора до потребителя наблюдается снижение давления. Чем больше протяженность трубопровода и чем большее в нем количество местных сопротивлений (уголков, тройников, запорной арматуры, всевозможных фитингов и т.д.), тем выше степень снижения давления. Последнее происходит также в устройствах для подготовки воздуха: во время прохождения через осушитель на 0,2 бар, и при пересечении каждого их микрофильтров на 0,1...0,15 бар, при этом в ходе увеличения загрязнения фильтроэлемента данная величина увеличивается.

Из всего вышесказанного следует, что стоит отдавать предпочтение устройствам-компрессора с более высокими возможными показателями максимального давления. Определенный «запас» давления полезен и с другой точки зрения. Чем более высоко давление, допустимое компрессором, тем больший объем воздуха он способен закачать в зону ресивера и тем большее время займет опорожнение последнего до минимально возможного давления, тем самым предоставляя компрессору период для отдыха.

**Объемный расход воздуха.** Выбор устройства-компрессора также производится исходя из данных о необходимом объемном расходе для потребителя. При этом не помешает иметь в виду следующий факт: в паспортных данных на зарубежные компрессоры обозначается их теоретическая производительность (по всасыванию). Данные показатели не равны реальной выходной производительности и отличаются в большую сторону. Отличие учитывается коэффициентом производительности  $K_{пр}$ . Для компрессорных устройств профессионального уровня коэффициент производительности может варьироваться от 0,6 до 0,75. Поэтому, для того чтобы найти теоретическую (номинальную) производительность, следует повысить величину необходимого расхода объемов на 25-40%.

Таким образом, верно установив исходные данные и произведя некоторые математические вычисления, возможно понять, какие параметры и характеристики должен иметь необходимый компрессор.



## 1.6 Назначение и принцип действия охлаждающего устройства

При сжатии в компрессоре происходит нагревание воздуха. На выходе из поршневого компрессора его температура достигает отметки более 150°C. В ходе процесса некоторый объем тепла поглощают детали и составные части головки компрессора, что способствует возрастанию их температуры, а также изменениям тепловых зазоров в области узлов трения. В случае отсутствия отвода тепла головка будет не успевать охлаждаться. При наиболее удачном стечении обстоятельств это приведет к ускорению износа компрессорного механизма. В худшем же случае произойдет незамедлительный выход из строя по причине заклинивания.

С целью обеспечения теплоотвода используется охлаждение компрессора принудительного характера. На данный момент производится большое число разновидностей охлаждающих устройств. К ним причисляют и охладители, роль теплоносителя в которых выполняет воздух, и распространившиеся в последние годы водяные, и устройства на основе тепловых трубок и т.д. [9].

В действующих условиях и при мощности отводимых тепловых механизмов, устройства-охладители с воздухом в роли теплоносителя, получили довольно большое распространение и должным образом справляются с охлаждением узлов всевозможных устройств.

Потоки воздуха, создающие теплообмен, образуются посредством внешнего вытягивающего устройства-вентилятора.

Преимуществами воздушного охладителя являются:

- простота и дешевизна реализации;
- удобство в эксплуатации из-за отсутствия жидкости;
- меньшие габариты и масса;
- равномерность распределения температуры воздуха по всему охлаждаемому объему.

К недостаткам таких охладителей относятся:

- повышенный шум при работе;
- увеличенный расход электроэнергии.

## 1.7 Назначение и принцип действия обратного клапана

Обратный клапан (Рисунок 1.10) предусмотрен в механизме для пропускания воздушного потока лишь в одном направлении. В случае достижения предусмотренной максимальной степени давления в ресивере происходит самостоятельное отключение приводного двигателя компрессора. С целью не допустить выхода воздуха из ресивера сквозь нефункционирующий компрессор, на его (компрессора) выходе производят установку обратного клапана.

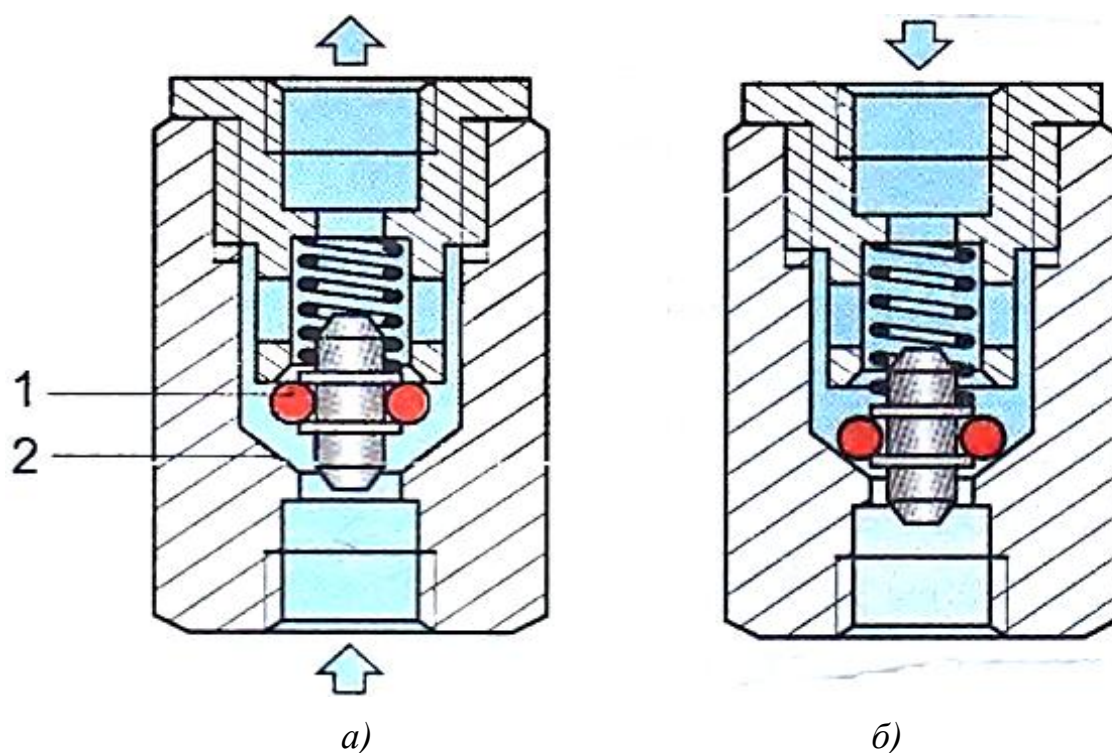


Рисунок 1.10 – Обратный клапан

Клапан изготовлен в варианте стакана с осью и конической поверхностью на дне, являющейся перегородкой для запорного элемента. На конце оси предусмотрена резьба под стабилизатор с конической поверхностью и отверстиями, выполненными для протока жидкости. Запорный элемент изготавливается с предусмотренными коническими поверхностями и располагается на оси стакана с допустимостью движения и закрывания перегородочных отверстий и стабилизатора [10].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Характер действия клапана следующий: вследствие воздушного потока запорный элемент 1 отжимается от седла 2 клапана (см. Рисунок 1.10, а), во время воздухоподачи в противоположном направлении (см. Рисунок 1.10, б), происходит закрытие клапана вследствие встроенной пружины и оказываемого давления.

### 1.8 Назначение и принцип действия ресивера

Колебания давления в сети в течение расхода сжатого воздуха и создания его резервзапаса выравнивается за счет применения специальных емкостей-воздухосборников, называемых ресиверами (Рисунок 1.11).

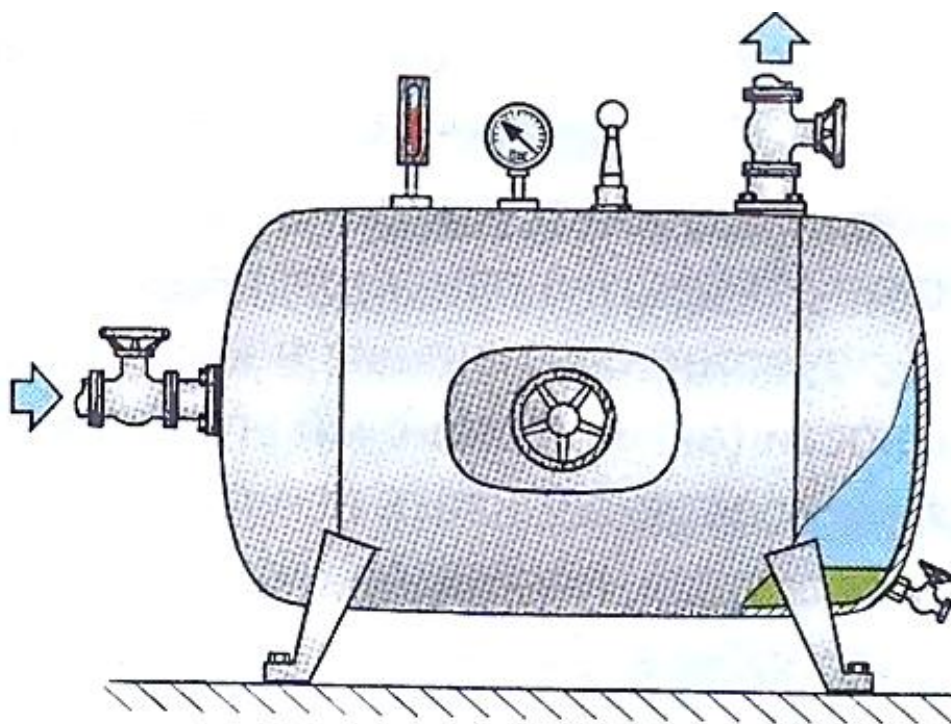


Рисунок 1.11 – Ресивер

Отбор и доставка в систему сжатого воздуха из ресивера производят из его верхней его части, поскольку в нижней части с течением времени происходит скапливание конденсата. С целью его отвода используются устройства слива, ручного либо автоматического типа.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Сливное отверстие располагается на нижней стенке цилиндрического корпуса. В самом корпусе устанавливается клапан уплотнения сливного отверстия, содержащий седло и запорный орган [11].

### 1.9 Назначение и принцип действия прессостата

Прессостат (реле давления) – прибор для автоматического включения и выключения компрессора в зависимости от величины давления в ресивере (Рисунок 1.12).

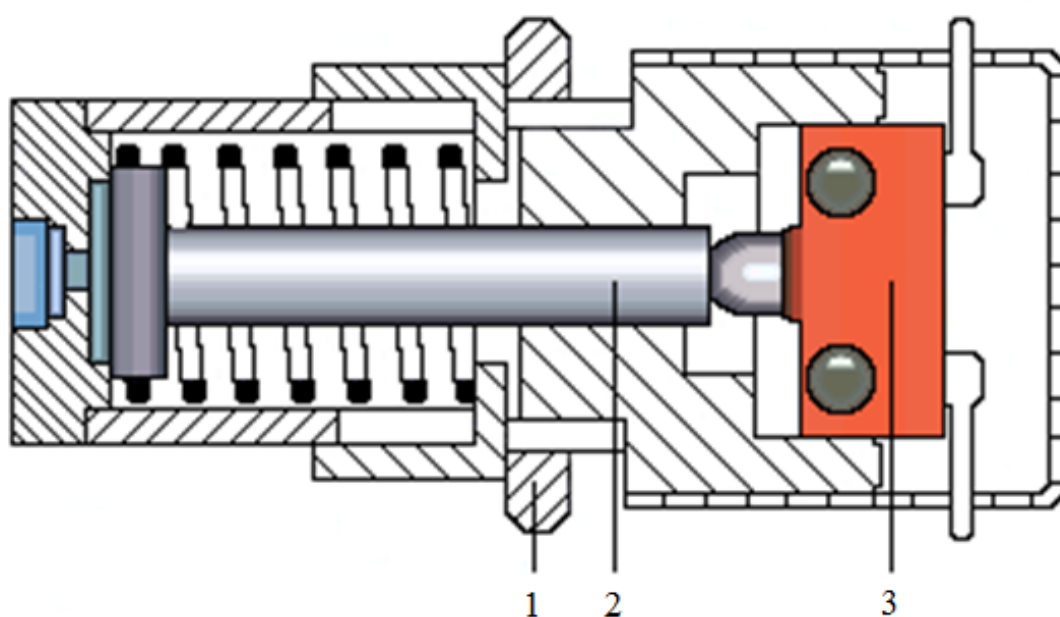


Рисунок 1.12 – Прессостат

По существу, прессостат представляет собой электрический выключатель 3 с приводом от мини-пневмоцилиндра одностороннего действия 2. Значение порога срабатывания реле настраивают посредством регулировочной гайки 1, вращением которой можно изменять силу предварительного поджатия пружины пневмоцилиндра. Настраивая реле, необходимо помнить о различии значений давления, при которых происходит его включение и выключение, вследствие явления гистерезиса пружины.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 1.10 Назначение и принцип действия манометра

Манометр необходим для контроля степени давления в ресивере сжатого воздуха. На данный момент можно назвать множество разных конструкционных решений устройств для контроля давления. Однако к наиболее распространенным и часто применяемым относятся стрелочные манометры, в которых роль чувствительного элемента исполняет трубка Бурдона, являющаяся одной из разновидностей тонкостенных упругих трубок (Рисунок 1.13).

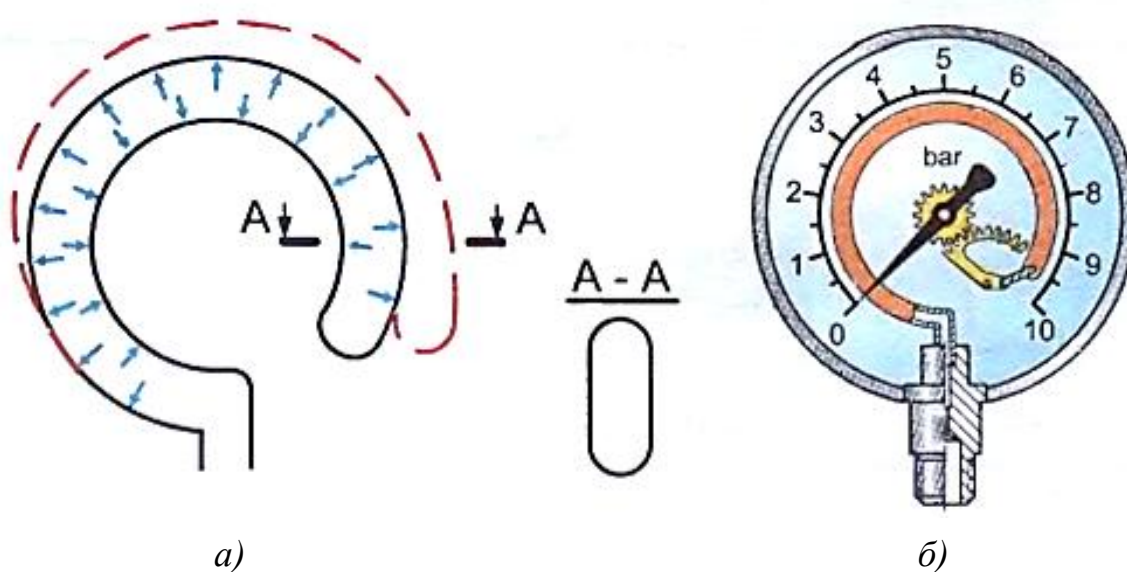


Рисунок 1.13 – Стрелочный манометр с трубкой Бурдона

В манометрических приборах применяют качество кривой трубки деформироваться под напором давления. Как правило, манометрическая трубчатая пружина выполняется в виде тонкостенную кривую трубку вытянутого поперечного сечения. Поперечное сечение трубки деформируется во время подачи во внутреннюю полость давления, и в это время внешнее продольное волокно трубки переходит на дугу большего радиуса, а внутреннее волокно на дугу меньшего радиуса [12].

Подача сжатого воздуха в трубку происходит посредством специального штуцера, которые присоединяется к контролируемой точке пневмосистемы. Вследствие оказываемого им давления происходит распрямление трубки (см.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Рисунок 1.13, а), что в свою очередь поворачивает зубчатый сектор, расположенный в области зацепления с последним зубчатого колеса, которое крепко соединяется со стрелкой. Перемещение последней происходит относительно шкалы устройства с рисками, которые зависят от конкретных поставленных значений степени давления в трубке (см. Рисунок 1.13, б).

Установка манометра производится таким образом, чтобы его данные были ясно видны работникам. Кроме того, желательно, чтобы плоскость шкалы находилась в вертикальном положении [13].

### 1.11 Назначение и принцип действия вентиля

С целью закрытия трубопроводов либо для отсечения отдельных областей пневмосистемы используются различные вентили. К одним из наиболее распространенных относятся вентили шарового типа (Рисунок 1.14).

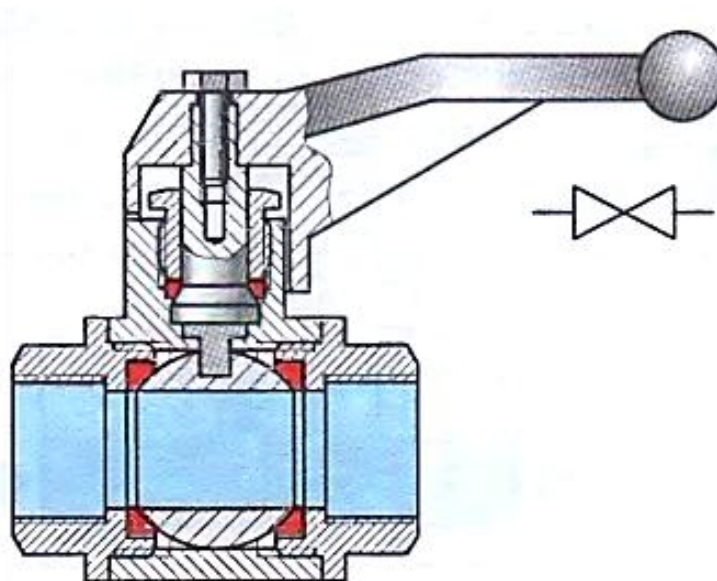


Рисунок 1.14 – Шаровой вентиль

Поток сжатого воздуха в данных вентилях перекрывается полностью в случае поворота запорно–регулирующего компонента (шарообразным элементом со сквозным отверстием) на 90° [14].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 1.12 Назначение и принцип пневматического распределителя

Пневматические распределители причисляются к направляющим устройствам и используются с целью управления воздушными потоками, подводимых к ним. Управление ими происходит посредством изменения порядка соединений внутренних каналов распределителя с входными и выходными отверстиями-присоединителями, который происходит при переключении. Схема соединения внутренних каналов распределителя с входными и выходными присоединительными отверстиями. В проектируемой системе питания пневмораспределитель предназначен для выравнивания давлений на входе и выходе компрессора второй ступени после его отключения с целью облегчения последующего запуска компрессора.

Функциональность распределителей обладает целым рядом параметров, в число которых входят следующие: число действующих каналов, число позиций переключения, стандартная позиция (или «на складе»), метод и особенности управления, а также пропускная способность.

Все перечисленные параметры, не включая последний, отображаются посредством условного графического обозначения распределителя. Каждая из позиций последнего (схема соединений) условно обозначается в виде квадрата, внутри которого демонстрируются направления потока сжатого воздуха (Рисунок 1.15).

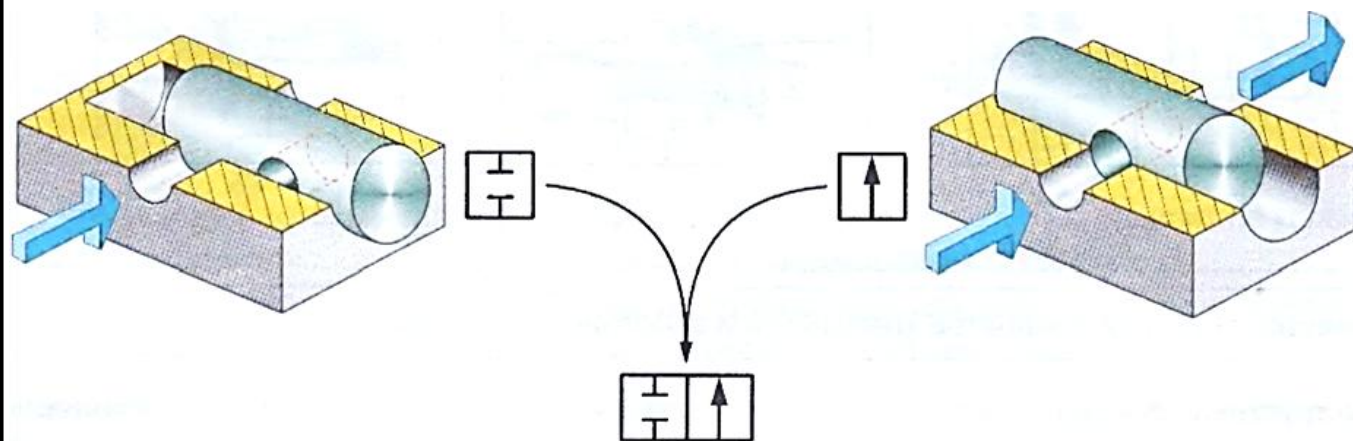


Рисунок 1.15 – Принцип формирования условного графического обозначения распределителей

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

В демонстрируемой модели наиболее простого из распределителей подвижной запорный компонент нередко способен занимать две дискретные позиции, которые соответствуют двум основным состояниям пневматического устройства-распределителя: 1) «воздушные проход закрыт»; 2) «воздухопровод открыт». Кроме того, запорный элемент в данном случае может коммутировать между собой две линии: 1) вход (или линию питания); 2) выход (или линию потребителя). По этой причине обозначенный распределитель можно назвать двухпозиционным и двухлинейным, что в свою очередь вполне графически отражено в его условном обозначении.

Пневматические распределители, переключающиеся в стандартную позицию за счет возвратных пружин, именуют моностабильными (Рисунок 1.16). Подобные устройства обладают единственным устойчивым состоянием — стандартное для подобной конструкции и определяющее состояние устройства «на складе» (т. е. при отсутствии управляющих воздействий) [15].

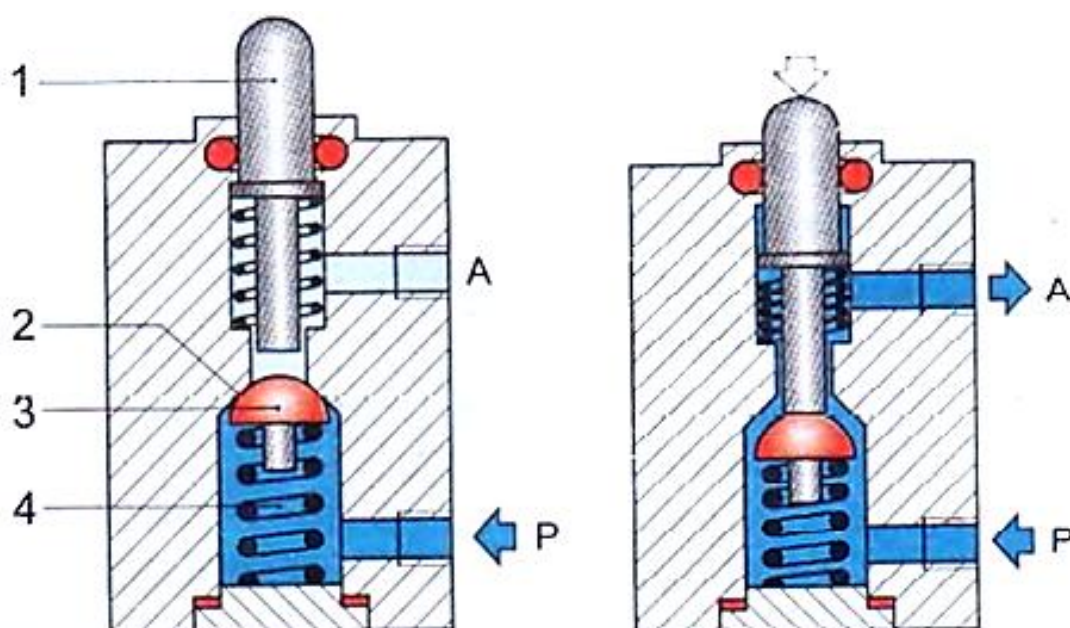


Рисунок 1.16 – Нормально закрытый 2/2-пневмораспределитель с механическим управлением

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



В исходной позиции запорно-регулирующий компонент 3 распределителя в форме полусферы, под влиянием пружины 4 и оказываемого давления питания прижат к седлу 2, блокируя за счет этого воздухоподачу в область канала потребителя А, — это значит, что пневматический распределитель нормально закрыт.

В случае имеющегося внешнего управляющего воздействия, уровень и степень которого являются достаточными для преодоления усилия от давления на клапан 3 и возвратных пружин и давления, толкатель 1 снимает клапан 3 с седла 2, и пневматически распределитель переходит в позицию, в которой каналы питания Р и потребителя А начинают сообщаться между собой.

При наличии внешнего управляющего воздействия, величина которого должна быть достаточной для преодоления усилия от возвратных пружин и давления, действующего на клапан 3, толкатель 1 снимает клапан 3 с седла 2, и пневмораспределитель занимает позицию, в которой каналы питания Р и потребителя А сообщаются между собой.

### **1.13 Назначение и принцип устройств очистки сжатого воздуха**

С целью гарантировать надежность и бесперебойную работу пневмосистем, а также каждой их составляющей в отдельности, требуется очищенный сжатый воздух. Загрязнители вроде окалины, пыли и ржавчины, а также жидкостные составляющие вроде конденсата и масла, значительно снижают показатели безотказности компонентов пневмосистем. По причине загрязнения сжатого воздуха износ устройства возрастает примерно в 2-7 раз, в то время как количество их выходов из строя вследствие той же причины - до 80% от общего числа отказов.

Очистка сжатого воздуха от различных включений — сложная задача, эффективное решение которой достигается путем квалифицированного выбора, размещения и эксплуатации очистных устройств на всех основных участках пневматической сети.

**Твердые загрязнители.** Для очистки воздуха от включений механического характера используются фильтры. Концентрация, состав и происхождение

										Лист
										37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

твердых загрязнителей зависят как от режимов эксплуатации и обслуживания пневмоустройств, так и от степени воздухазагрязненности в области всасывания компрессора. По этой причине очистку воздуха следует планировать уже на данном этапе. Необходимость в установке фильтра в области линий всасывания вызвана и требованием безопасности работы компрессора. В большинстве случаев приемный фильтр обладает корпусом 1, который содержит фильтрующий элемент 2, имеющий вид сменного стакана (Рисунок 1.17).

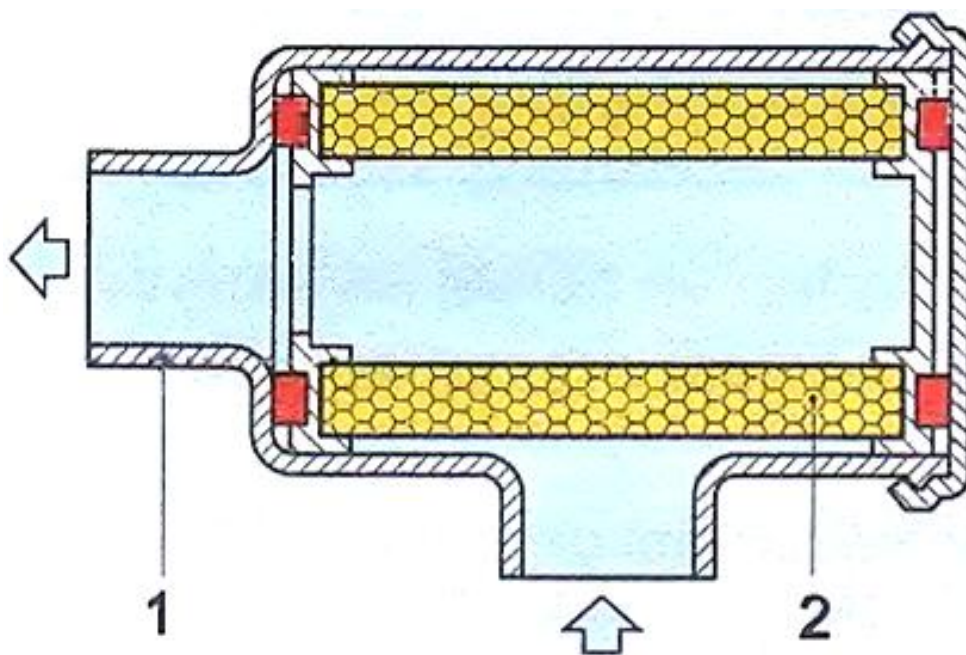


Рисунок 1.17 – Приемный (всасывающий) фильтр

В роли материалов для фильтрующих компонентов могут использоваться следующие: фетр, бумага, пористая керамика, поролон, металлокерамика, целлюлозная вата, сетки из металла и прочие. Размеры частиц, которые могут быть задержаны фильтром, зависят от формы и размеров ячеек и варьируются в зависимости от требований к сжатому воздуху: максимальный размер может быть от 80 мкм, минимальный — 0,5 мкм.

Наибольшая часть твердых загрязняющих веществ оказывается в воздухе во время его передачи по соединениям и трубопроводным каналам. Данные вещества-загрязнители на 95-98% состоят из окалины и ржавчины, в некоторых

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

случаях - из компонентов от износа колец компрессоров, поршневых колец и подвижных деталей пневмоустройств.

**Влага.** Температура воздуха при его сжатии в компрессоре возрастает примерно на 100-130°C вкуче с серьезным снижением показателей его относительной влажности. При показателях влажности всасываемого воздуха в размере 80%, при выходе из компрессора уже сжатый воздух обладает значением в 6-10%. За счет теплообмена с окружающей средой воздух во время своего движения по трубопроводным каналам охлаждается, перенасыщается водяными парами и выделяет конденсат. С целью очистки сжатого воздуха от конденсата и твердых частиц используются специальные фильтры-влагоотделители. Конструкция подобных устройств показана на рисунке 1.18.

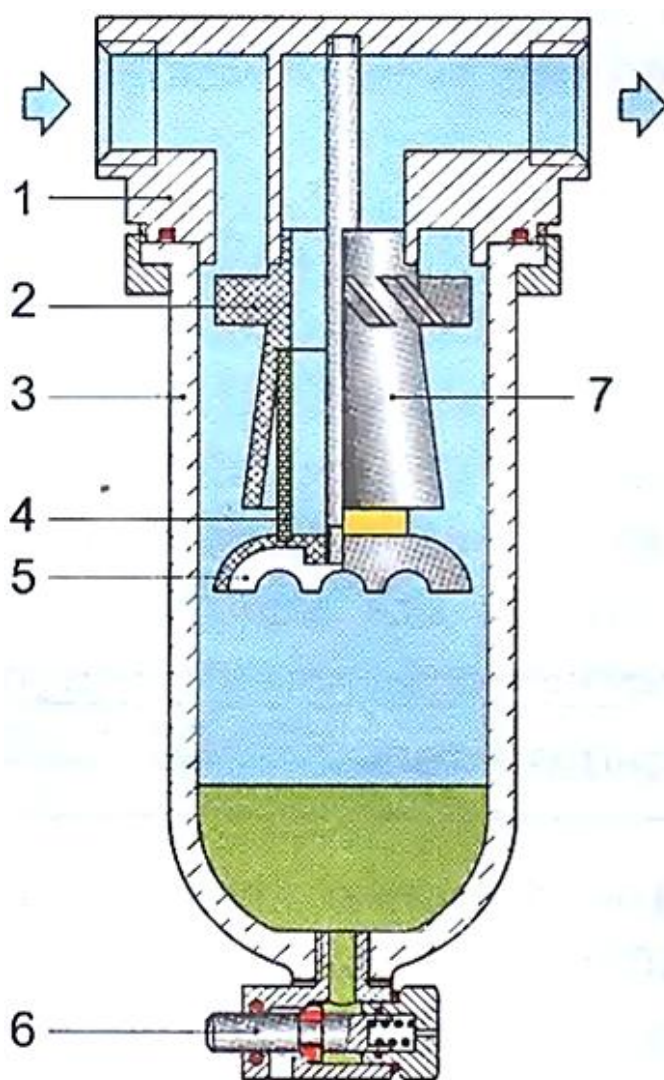


Рисунок 1.18 – Фильтр – влагоотделитель

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Сжатый воздух, подведенный к входному каналу в корпусе 1, отправляется на крыльчатку 2, где в последующем начинается нисходящее движение вращательного характера. Капли масла и воды, а также крупные твердые частицы отбрасываются к стенкам стакана 3 вследствие воздействия центробежных сил и опускаются вниз, в 5 спокойную зону, отделяемую заслонкой. После этого воздух отправляется к выходу аппарата. Следует отметить, что в фильтроэлементе 4 удерживаются включения более мелкого размера. С целью предотвратить попадание загрязнителей, удаляемых при действии центробежных сил, фильтроэлемент защищается дефлектором 7. Конденсат должен время от времени отводиться посредством клапана 6, управляемого вручную. При этом уровень конденсата не должен подниматься выше заслонки, поскольку тогда конденсат станет подхватываться воздушным потоком, поступающим на фильтроэлемент, что в свою очередь приведет к скорому его засорению.

Из-за того, что в случае засорения фильтров увеличивается степень сопротивления воздуходвижению, фильтроэлементы заменяют или восстанавливают их пропускную способность. Очищение фильтроэлементов может производиться таким образом: пропуском сжатого воздуха в направлении, обратном движению воздушного потока во время работы фильтра; промыванием в растворителях; с помощью чистки ультразвуком. В целях регенерировать фильтры из керамики пористого типа и металлокерамики, возможно применение кислотных растворов с последующей промывкой и нейтрализацией. Восстановление невозможно в случае тканевых, бумажных, волокнистых и прочих подобных фильтроэлементов.

В ходе эксплуатации, внутри влагоотводящих фильтров осаждаются водомасляная эмульсия. Это, в свою очередь, может способствовать появлению проблем в их работе. Промывать устройства необходимо с использованием растворов, которые не повреждают уплотнение и поверхность деталей (к подобным можно отнести спирт, бензин, уайт-спирит и мыльный раствор).

										Лист
										40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Фильтры-влагоотделители необходимо монтировать в пневмоустройства исключительно в вертикальном положении. Направление движения сжатого воздуха обозначается стрелкой на корпусе.

Правильная работа устройств-очистителей для чистки сжатого воздуха может быть лишь в определенном диапазоне расходов, который указывается в инструкции к эксплуатации.

**Выводы по разделу 1:** на основе анализа ТЗ и обзора аналогов, наиболее подходящих по заданным характеристикам систем питания, и калибраторов, питающихся от них принято решение о проектировании двухступенчатой системы питания, на выходе первой ступени которой давление составляет 1,0МПа, на выходе второй – 4,0МПа. Для уменьшения расхода на выходе системы питания устанавливается регулятор расхода. Для обеспечения необходимой степени фильтрации воздуха в конструкции системы питания на выходе обеих ступеней устанавливаются фильтры. Необходимо предусмотреть охлаждающие устройства на выходе из компрессоров обеих ступеней. Составлена пневматическая схема с последующим определением элементов на ее основе и рассмотрением принципов их работы.

## 2. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ. ВЫБОР КОМПЛЕКТУЮЩИХ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ

### 2.1 Расчет и выбор компрессоров.

Компрессор первой ступени выбирается из требований к расходу воздуха для калибратора и максимальному рабочему давлению:

- нормализованный объемный расход воздуха 1,2 м<sup>3</sup>/ч;
- давление воздуха питания 1,1 МПа.

Как было сказано выше, компрессор должен производить воздуха больше, чем это требуется потребителю. Оптимальное отношение объемной производительности компрессора к среднему воздухопотреблению составляет величину, равную двум [8]. Следовательно, объемный расход на выходе компрессора первой ступени должен быть примерно равен 2,4 м<sup>3</sup>/ч.

Тогда требуемая теоретическая производительность компрессора первой ступени при коэффициенте  $K_{пр}=0,75$  будет равна:

$$Q_{1mp\_теор} = \frac{2,4}{0,75} = 3,2 \text{ м}^3/\text{ч}$$

В большинстве каталогов на импортные компрессоры отсутствуют данные об их объемной производительности, а вместо этого указана информация об объеме рабочей камеры компрессора и частоте вращения его приводного вала. Исходя из этих данных, производительность компрессора определяется по формуле:

$$Q = 60V \cdot n, \quad (1)$$

где  $Q$  – производительность компрессора, м<sup>3</sup>/ч;

$V$  – объем рабочей камеры компрессора, м<sup>3</sup>;

$n$  – частота вращения приводного вала компрессора, об/мин.

В соответствии с этими данными, а также с требованиями по минимизации габаритов, массы и стоимости проектируемой системы питания, в качестве компрессора первой ступени системы питания выбираем поршневой компрессор модели SC18G фирмы Danfoss [16].

Технические характеристики компрессора SC18G:

Питание 220 - 240 В.....	50 Гц
Объем рабочей камеры.....	17,69 см <sup>3</sup>
Номинальная частота вращения приводного вала.....	3000 об/мин
Максимальное рабочее давление.....	2,0 МПа
Время работы под нагрузкой.....	60 с
Время простоя (холостого хода).....	60 с

Вычислим теоретическую производительность данного компрессора:

$$Q_{1теор} = 60 \cdot 17,69 \cdot 10^{-6} \cdot 3000 \approx 3,18 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Полученное значение теоретической производительности компрессора и его максимальное рабочее давление удовлетворяют требуемым.

Коэффициент сжатия компрессора второй ступени должен находиться в диапазоне от 4 до 10. В нашем случае коэффициент сжатия составляет величину  $K_2=4$  [8]. Тогда требуемая теоретическая производительность компрессора второй ступени равна:

$$Q_{2тр\_теор} = \frac{Q_{1теор}}{K_2} = \frac{3,18}{4} = 0,86 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Произведя обзор компрессоров, нам не удалось подобрать компрессор с требуемыми характеристиками по производительности и максимальному рабочему давлению. Поэтому принято решение использовать в системе питания

компрессор большей производительности, режим работы которого будет задаваться автоматикой прессостата.

В качестве компрессора второй ступени выбираем из каталога фирмы Tecumseh поршневой компрессор модели AEZ4430Z [17].

Технические характеристики компрессора AEZ4430Z:

Питание 220 - 240 В.....	50 Гц
Объем рабочей камеры.....	5,7 см <sup>3</sup>
Номинальная частота вращения приводного вала.....	3000 об/мин
Максимальное рабочее давление.....	4,2МПа
Время работы под нагрузкой.....	40 с
Время простоя (холостого хода).....	40 с

Вычислим теоретическую производительность данного компрессора по формуле (1):

$$Q_{2теор} = 60 \cdot 5,7 \cdot 10^{-6} \cdot 3000 \approx 1,03 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для дальнейших расчетов определим реальные производительности компрессоров при коэффициенте  $K_{np}=0,75$ :

$$Q_1 = 0,75Q_{1теор} = 0,75 \cdot 3,18 = 2,39 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$Q_2 = 0,75Q_{2теор} = 0,75 \cdot 1,03 = 0,77 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Поскольку компрессоры работают в «импульсном» режиме, и проектируемая система питания согласно требованиям ТЗ предназначена для питания задатчиков различного исполнения, фактические коэффициенты сжатия первого и второго компрессоров выберем равными соответственно 10 и 4.



### 2.1.1 Тепловой расчет компрессоров.

**Определение температуры сжатого воздуха.** Цель расчета: подбор компрессорного масла, обеспечивающего нормальный режим работы компрессоров в номинальном режиме [18].

Исходные данные для теплового расчета приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Данные для теплового расчета компрессоров

Параметры	Компрессор 1 ступени	Компрессор 2 ступени
Давление всасывания, МПа	0,1 МПа	1,1 МПа
Давление нагнетания, МПа	1,1 МПа	4,1 МПа
Температура всасываемого газа, К	293 К	293 К

Температура газа в конце сжатия, т.е. температура нагнетания, определяется по следующей формуле [19]:

$$T_n = T_{вс} \left( \frac{p_n}{p_{вс}} \right)^{\frac{n-1}{n}}, \quad (2)$$

где  $T_{вс}$  – температура всасываемого газа, К;

$p_n$  – давление нагнетания, МПа;

$p_{вс}$  – давление всасывания, МПа;

$n$  – коэффициент, зависящий от характера сжатия газа.

Сжатие газа может происходить со следующими особенностями:

- без теплообмена, другими словами, с нагреванием газа при его сжатии (адиабатический процесс);
- с частичным тепловым обменом (политропический процесс);
- с полным тепловым обменом, другими словами, с сохранением при сжатии постоянной температуры газа (изотермический процесс).

Из этого становится ясно, что наиболее выгодным и эффективным процессом сжатия для устройства-компрессора можно назвать последний путь -

изотермический процесс. В данном случае происходит соблюдение идеальных условий, способствующих сохранности качеств смазочных масел, таких как вязкость и температура вспышки. Тем не менее, изотермический тип сжатия практически неосуществим в компрессоре, и кривая сжатия, как правило, находится между изотермой и адиабатой, а потому может быть принята за политропу. С уменьшением теплообмена (смещение политропы в сторону адиабаты) показатель  $n$  увеличивается, и конечная температура сжатого газа возрастает.

В случае политропного сжатия воздуха ( $n=1,2$ ) температуры нагнетания для компрессоров согласно формуле (2) будут равны:

$$T_{H1} = T_{вс1} \left( \frac{P_{H1}}{P_{вс1}} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 293 \cdot \left( \frac{1,1}{0,1} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} \approx 430 \text{ K} = 157^\circ \text{ C}.$$

$$T_{H2} = T_{вс2} \left( \frac{P_{H2}}{P_{вс2}} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 293 \cdot \left( \frac{4,1}{1,1} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} \approx 369 \text{ K} = 96^\circ \text{ C}.$$

Необходимо подобрать такое компрессорное масло, у которого температура вспышки с определенным запасом будет выше температуры сжатого воздуха.

Для каждого из данных компрессоров выберем масло КЗ-10 (ТУ 38.401724-88), применяющееся для смазки поршневых компрессоров с температурой нагнетания до  $200^\circ\text{C}$ , а также ротационных компрессоров [20].

В масло входит композиция присадок, которые уменьшают степень образования и отложения нагара в нагнетательной линии устройства компрессора, а также повышают смазывающие, антиокислительные и антикоррозионные характеристики.

## Технические характеристики компрессорного масла КЗ-10:

Вязкость кинематическая, мм<sup>2</sup>/с:

- при 100°C.....8,8-10,5

- при 40°C.....73,7-96,2

Индекс вязкости, не менее.....90

Кислотное число, мг КОН/г, не более.....0,2

Температура, °С:

- вспышки в открытом тигле, не ниже.....205

- застывания, не выше.....-10

Содержание, % (масс. доля), не более:

- механических примесей.....отсутствие

- воды.....среды

- серы.....0,65

Коксуемость, %, не более.....0,2

Зольность, %, не более.....0,005

Стабильность против окисления, не более:

- увеличение коксуемости, %.....1,5

- потери от испарения, %.....15

Плотность при 20°C, кг/м<sup>3</sup>, не более.....900

*2.1.2 Определение тепловой мощности, выделяемой компрессорами в процессе сжатия воздуха.*

Цель расчета: определение выделяемой компрессорами тепловой мощности с целью дальнейшего подбора охлаждающего устройства.

Механическое воздействие на газ в рабочей полости цилиндра компрессора, выражающееся в уменьшении объема этой полости, приводит к изменению параметров газа [19]. Из первого закона термодинамики следует, что вся подводимая извне во время сжатия механическая работа расходуется на изменение внутренней энергии газа  $du$  и на внешний теплообмен  $da$ .

$$dl = du + da$$

Для определения  $da$  необходимо знать коэффициент теплоотдачи и разность температур стенки рабочей камеры и газа, которые являются переменными величинами, зависящими от большого числа факторов. Поэтому описать простыми зависимостями теплообмен между газом и стенками не представляется возможным.

Задача может быть решена, если предположить, что  $da$  составляет определенную часть от  $dl$  в течение всего процесса сжатия, т.е. отношение  $da/dl$  остается постоянным. В политропном процессе сжатия от сжимаемого газа отводится теплота, составляющая часть подводимой к газу механической энергии:

$$da = \frac{k - n}{k - 1} dl, \quad (3)$$

где  $k=1,4$  – показатель адиабаты,  $n=1,2$  – показатель политропы для воздуха.

Тогда в соответствии с формулой (3)

$$da = \frac{1,4 - 1,2}{1,4 - 1} dl = 0,5dl .$$

Т.е. количество тепла, отводимого от компрессора в процессе сжатия воздуха, составляет 50% от подводимой механической энергии.

Работу сжатия и перемещения воздуха в компрессоре за один оборот коленчатого вала можно определить по следующей формуле:

$$L = \frac{n}{n - 1} p_{вс} V_h \left[ \left( \frac{p_H}{p_{вс}} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right], \quad (4)$$

где  $V_h$  – рабочий объем цилиндра компрессора, м<sup>3</sup>.

					ЮУрГУ –120301.2018.255. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

Механическая энергия, подводимая к компрессору первой ступени за один оборот вала следуя (4), равна:

$$L_1 = \frac{n}{n-1} p_{вс1} V_{h1} \left[ \left( \frac{p_{н1}}{p_{вс1}} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \frac{1,2}{1,2-1} \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 17,69 \cdot 10^{-6} \times$$

$$\times \left[ \left( \frac{1}{0,1} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} - 1 \right] \approx 4,97 \text{ Дж.}$$

Для компрессора второй ступени:

$$L_2 = \frac{n}{n-1} p_{вс2} V_{h2} \left[ \left( \frac{p_{н2}}{p_{вс2}} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \frac{1,2}{1,2-1} \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 5,7 \cdot 10^{-6} \times$$

$$\times \left[ \left( \frac{4}{1} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} - 1 \right] \approx 8,89 \text{ Дж.}$$

Количество теплоты, выделившееся в процессе сжатия воздуха первым и вторым компрессором за один оборот вала из (2), равно:

$$A_1 = 0,5L_1 \approx 2,49 \text{ Дж.}$$

$$A_2 = 0,5L_2 \approx 4,45 \text{ Дж.}$$

Определим период вращения валов обоих компрессоров:

$$T = \frac{1}{3000 \text{ об/мин}} = \frac{1}{50 \text{ об/с}} = 0,02 \text{ с.}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Отсюда найдем тепловую мощность, выделяемую при сжатии воздуха первым и вторым компрессорами:

$$W_{K1} = \frac{A_1}{T} = \frac{2,49}{0,02} = 124,5 \text{ Вт.}$$

$$W_{K2} = \frac{A_2}{T} = \frac{4,45}{0,02} = 222,5 \text{ Вт.}$$

Исходя из полученных данных, в следующем подразделе будет произведен выбор охлаждающего устройства.

## **2.2 Расчет и выбор устройства охлаждения.**

Исходя из анализа, приведенного в подразделе 1.6, принимаем решение об использовании вентилятора для охлаждения компрессоров. Но, помимо охлаждения самих компрессоров, нам необходимо охладить до комнатной температуры сжатый в них воздух (исходя из требований к питанию калибратора давления).

В качестве устройства, охлаждающего сжатый воздух, выбираем змеевик, который будет обдуваться вентилятором. Змеевик — это длинная металлическая, трубка, изогнутая некоторым способом и предназначенная для того, чтобы в минимальном объеме пространства обеспечить максимальный теплообмен между двумя средами, разделёнными стенками змеевика [21].

Таким образом, охладитель проектируемой системы питания представляет собой змеевик, закрепленный неким образом на вентиляторе, обдувающим компрессор и трубку змеевика.

Для дальнейшего определения размеров змеевика и выбора вентилятора необходимо произвести тепловой расчет охладителя.

### 2.2.1 Тепловой расчет охладителя.

Цель расчета: определение теплоты, выделяющейся при охлаждении сжатого воздуха с целью дальнейшего расчета необходимой площади змеевика и выбора вентилятора.

Для того чтобы охладить воздух до определенной температуры, необходимо отвести от него тепловую мощность, определяемую по формуле из [22]:

$$W = Q\rho c_p(t_1 - t_2), \quad (5)$$

где  $Q$  – объемный расход газа через охладитель, м<sup>3</sup>/с;

$\rho$  – плотность газа на входе в охладитель, кг/м<sup>3</sup>;

$c_p$  – удельная теплоемкость газа на входе в охладитель, Дж/(кг·К);

$t_1$  и  $t_2$  – температуры газа при входе в охладитель и при выходе из него, К.

Удельные теплоемкости воздуха на выходе первого ( $t_1 = 430$  К,  $p_1 = 1$  МПа) и второго ( $t_2 = 369$  К,  $p_2 = 4$  МПа) компрессоров равны соответственно  $c_{p1} = 1,027 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К) и  $c_{p2} = 1,047 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К).

Плотности воздуха на выходе компрессоров составляют величины  $\rho_1 = 7,72$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_2 = 36,89$  кг/м<sup>3</sup>.

Тогда тепловая мощность, выделяющаяся с поверхностей змеевиков при охлаждении газа до комнатной температуры, будет равна (5):

$$W_{31} = Q_1 \rho_1 c_{p1} (t_{1,1} - t_{2,1}) = \frac{2,39}{3600} \cdot 7,72 \cdot 1,027 \cdot 10^3 \cdot (430 - 293) \approx 721,1 \text{ Вт.}$$

$$W_{32} = Q_2 \rho_2 c_{p2} (t_{1,2} - t_{2,2}) = \frac{0,77}{3600} \cdot 36,89 \cdot 1,047 \cdot 10^3 \cdot (369 - 293) \approx 627,9 \text{ Вт.}$$

### 2.2.2 Расчет необходимой площади змеевика.

Произведем расчет необходимой площади поверхности теплообмена (площади поверхности змеевика) по формуле для теплообменных аппаратов [23]:

$$F = \frac{W_3}{k\Delta t}, \quad (6)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\Delta t$  – разность температур охлаждаемого и охлаждающего воздуха, К.

В качестве трубки для змеевика будем использовать медную трубку с внутренним диаметром  $d_1 = 4$  мм и наружным диаметром  $d_2 = 6$  мм.

Для гладких трубок, у которых отношение наружного и внутреннего диаметров  $d_2/d_1 \leq 1,5$  применима зависимость, полученная в теории теплообмена для коэффициента теплопередачи  $k$ :

$$k = \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, \quad (7)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – коэффициенты теплопередачи на внутренней и наружной поверхностях трубы, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Коэффициент теплопередачи  $\alpha$ , характеризующий интенсивность процесса переноса теплоты, обычно определяют экспериментально, объединяя опытные данные в безразмерные комплексы. Безразмерный коэффициент теплоотдачи представлен числом Nu (критерием Нуссельта):

$$\alpha_{1(2)} = \frac{\lambda}{d_{1(2)}} Nu, \quad (8)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности газа, Вт/(м·К);

$d_{1(2)}$  – внутренний (наружный) диаметр, м.



Значение критерия Nu определяется характером течения газа в трубе, т.е. числом Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{w_{cp} d_{эkv}}{\nu} = \frac{w_{cp} d_{эkv} \rho}{\mu}, \quad (9)$$

где  $w_{cp}$  – средняя скорость движения газа в трубе, м/с;

$d_{эkv}$  – эквивалентный диаметр канала, м;

$\nu$  – коэффициент кинематической вязкости газа, м<sup>2</sup>/с;

$\mu$  – коэффициент динамической вязкости газа, Па·с;

$\rho$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>.

Средняя скорость потока газа определяется по формуле:

$$w_{cp} = \frac{4Q}{\pi d_1^2}, \quad (10)$$

где  $Q$  – расход газа в трубе, м<sup>3</sup>/с.

Определим числа Рейнольдса для течений воздуха на выходе первого и второго компрессоров. Эквивалентный диаметр канала  $d_{эkv}$  при движении потока в круглых трубках равен внутреннему диаметру трубки.

Теплофизические свойства воздуха на выходе компрессора первой ступени ( $t_1=157$  °С (430 К),  $p_1=1$  МПа):  $\lambda_1=37,5 \cdot 10^{-3}$  Вт/(м·К);  $\rho_1=7,72$  кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_1=251,6 \cdot 10^{-7}$  Па·с.

Теплофизические свойства воздуха на выходе компрессора второй ступени ( $t_2=96$ °С (369 К),  $p_2=4$  МПа):  $\lambda_2=35,2 \cdot 10^{-3}$  Вт/(м·К);  $\rho_2=36,89$  кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_2=234,5 \cdot 10^{-7}$  Па·с.

Тогда числа Рейнольдса для потоков газа на выходе компрессоров будут равны в соответствии с (9) и (10):

$$\text{Re}_1 = \frac{4Q_1\rho_1}{\pi d_1\mu_1} = \frac{4 \cdot 2,39 \cdot 7,72}{3600 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 251,6 \cdot 10^{-7}} = 6,48 \cdot 10^4.$$

$$\text{Re}_2 = \frac{4Q_2\rho_2}{\pi d_1\mu_2} = \frac{4 \cdot 0,77 \cdot 36,89}{3600 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 234,5 \cdot 10^{-7}} = 10,71 \cdot 10^4.$$

Поскольку для обоих потоков  $1 \cdot 10^4 < \text{Re} < 5 \cdot 10^6$ , то течение газа на выходе обоих компрессоров – турбулентное.

В этом случае формула для критерия Нуссельта имеет вид:

$$\text{Nu} = 0,021\text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,43},$$

где Pr – число Прандтля.

Число Прандтля определяется как:

$$\text{Pr} = \frac{\mu c_p}{\lambda}.$$

Тогда критерии Нуссельта для потоков имеют величины:

$$\begin{aligned} \text{Nu}_1 &= 0,021\text{Re}_1^{0,8} \left( \frac{\mu_1 c_{p1}}{\lambda_1} \right)^{0,43} = 0,021 \cdot (6,48 \cdot 10^4)^{0,8} \times \\ &\times \left( \frac{251,6 \cdot 10^{-7} \cdot 1,027 \cdot 10^3}{37,5 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,43} = 126,45. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nu}_2 &= 0,021\text{Re}_2^{0,8} \left( \frac{\mu_2 c_{p2}}{\lambda_2} \right)^{0,43} = 0,021 \cdot (10,71 \cdot 10^4)^{0,8} \times \\ &\times \left( \frac{234,5 \cdot 10^{-7} \cdot 1,047 \cdot 10^3}{35,2 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,43} = 190,01. \end{aligned}$$

Коэффициенты теплопередачи на внутренней и наружной поверхностях труб змеевиков равны согласно (8):

$$\alpha_{1,1} = \frac{\lambda_1}{d_1} \text{Nu}_1 = \frac{37,5 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot 126,45 = 1185,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$\alpha_{1,2} = \frac{\lambda_1}{d_2} \text{Nu}_1 = \frac{37,5 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-3}} \cdot 126,45 = 790,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$\alpha_{2,1} = \frac{\lambda_2}{d_1} \text{Nu}_2 = \frac{35,2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot 190,01 = 1672,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$\alpha_{2,2} = \frac{\lambda_2}{d_2} \text{Nu}_2 = \frac{35,2 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-3}} \cdot 190,01 = 1114,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Тогда коэффициенты теплопередачи  $k$  из (7) будут равны:

$$k_1 = \frac{\alpha_{1,1} \alpha_{1,2}}{\alpha_{1,1} + \alpha_{1,2}} = \frac{1185,5 \cdot 790,3}{1185,5 + 790,3} = 474,18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$k_2 = \frac{\alpha_{2,1} \alpha_{2,2}}{\alpha_{2,1} + \alpha_{2,2}} = \frac{1672,1 \cdot 1114,7}{1672,1 + 1114,7} = 668,82 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Минимально необходимая площадь поверхностей змеевиков согласно (6):

$$F_1 = \frac{W_{31}}{k_1 \Delta t_1} = \frac{721,1}{474,18 \cdot (430 - 293)} = 0,011 \text{ м}^2.$$

$$F_2 = \frac{W_{32}}{k_2 \Delta t_2} = \frac{627,9}{668,82 \cdot (369 - 293)} = 0,012 \text{ м}^2.$$

Поскольку значения площадей теплоотвода отличаются незначительно, то для охлаждения сжатого воздуха на выходе обоих компрессоров будем использовать одинаковые змеевики.

Рассчитанная по данной формуле площадь – это площадь той поверхности трубы, у которой коэффициент теплоотдачи больше, т.е. внутренней.

Тогда минимально необходимая длина трубки змеевика должна быть равна:

$$l_{\min} = \frac{F_2}{\pi d_1} = \frac{0,012}{3,14 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} \approx 0,955 \text{ м} = 955 \text{ мм.}$$

### 2.2.3 Расчет и выбор вентилятора.

Объем приточного воздуха, необходимого для отвода тепла определяется из выражения [19]:

$$L_{np} = \frac{W}{(t_{yx} - t_{np}) \rho_{np} c}, \quad (11)$$

где  $L_{np}$  – объем приточного воздуха, м<sup>3</sup>/с;

$W$  – отводимые избытки тепла, Вт,

$t_{yx}$  – температура воздуха, уходящего из вентилируемого объема, °С;

$t_{np}$  – температура приточного воздуха, °С;

$\rho_{np}$  – плотность приточного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – теплоемкость воздуха, Дж/кг °С.

Общая тепловая мощность, отводимая от поверхностей компрессора и змеевика, для обеих ступеней равна (5):

$$W_1 = W_{K1} + W_{31} = 124,5 + 721,1 = 845,6 \text{ Вт.}$$

$$W_2 = W_{K2} + W_{32} = 222,5 + 627,9 = 850,4 \text{ Вт.}$$

Максимальное повышение температуры охлаждающего воздуха в процессе теплообмена принимаем равным 20 °С, т.е.  $t_{yx} = 40$  °С.

Плотность воздуха при температуре 20 °С и давлении 1 бар  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ , теплоемкость  $c = 1006 \text{ Дж/кг} \cdot \text{°С}$ .

Так как значения тепловых мощностей отличаются незначительно, то для отвода тепла будем использовать одинаковые вентиляторы.

Тогда минимально необходимый объем приточного воздуха из (11) равен:

$$L_{np\_min} = \frac{W_2}{(t_{yx} - t_{np}) \rho_{np} c} = \frac{850,4}{(40 - 20) \cdot 1,2 \cdot 1006} = 0,035 \text{ м}^3/\text{с} = 2,1 \text{ м}^3 / \text{мин.}$$

Исходя из полученного результата, а также из требований по минимизации габаритов и стоимости, выбираем вентилятор марки G12038HA2BT фирмы JIULONG [24].

Технические характеристики вентилятора G12038HA2BT:

Рабочее напряжение, В.....	220
Тип питания.....	АС
Рабочий ток, А.....	0,14
Номинальная мощность, Вт.....	21
Скорость вращения лопастей, об/мин.....	2600
Уровень шума, Дб.....	43
Производительность, м <sup>3</sup> /мин.....	2,3
Габариты, мм.....	120,0 x 120,0 x 38,0

### 2.3 Выбор обратных клапанов.

Основные критерии выбора обратного клапана:

1) необходимо, чтобы клапан работал при малых перепадах давления на входе и выходе, т.е. усилие открытия клапана было небольшим;

2) номинальный расход через клапан должен соответствовать требуемому.

Исходя из этого, а также с точки зрения минимизации габаритов и стоимости, для обеих ступеней системы питания выбираем обратные клапаны модели VNR-210-1/8 фирмы Samozzi со следующими характеристиками [25]:

- номинальный расход 600 Нл/мин;
- перепад давления 0,3 бар;
- присоединительная резьба G1/8.

## 2.4 Расчет и выбор ресиверов.

Объем ресивера выбирают в зависимости от режима работы компрессорной установки, и величина его должна составлять не менее половины объема воздуха, всасываемого компрессором в течение одной минуты [26].

Для точного вычисления минимально необходимого объема ресивера, можно использовать следующую формулу:

$$V_R = \frac{V' \cdot 60 \cdot \left[ \frac{L_B}{V'} - \left( \frac{L_B}{V'} \right)^2 \right]}{A \cdot (p_{\max} - p_{\min})}, \quad (12)$$

где  $V_R$  – объем воздушного ресивера, м<sup>3</sup>;

$V'$  – эффективная производительность компрессора, м<sup>3</sup>/мин;

$L_B$  – расход сжатого воздуха, м<sup>3</sup>/мин;

$A$  – число допустимых циклов вкл/выкл двигателя, ч<sup>-1</sup>;

$p_{\max}$  – давление выключения (разгрузки) компрессора, бар;

$p_{\min}$  – давление включения (нагрузки) компрессора, бар.

Расчет цикличности переключений компрессора производится по формуле:

$$A = \frac{60}{t_R + t_I}, \quad (13)$$

где  $A$  – количество циклов, ч<sup>-1</sup>;

$t_R$  – время работы под нагрузкой, мин;

$t_I$  – время простоя (холостого хода), мин.

Определим минимально необходимый объем ресивера второй ступени.

Цикличность переключений компрессора второй ступени из (13):

$$A_2 = \frac{60}{t_{R2} + t_{I2}} = \frac{60 \times 60}{40 + 40} = 45 \text{ ч}^{-1}.$$

Тогда минимальный объем ресивера второй ступени будет равен согласно (12):

$$V_{R2} = \frac{V_2' \times 60 \times \left[ \frac{L_{B2}}{V_2'} - \left( \frac{L_{B2}}{V_2'} \right)^2 \right]}{A_2 \times (p_{\max 2} - p_{\min 2})} = \frac{0,77}{60} \times 60 \times \left[ \frac{0,36}{0,77} - \left( \frac{0,36}{0,77} \right)^2 \right]}{45 \times (40 - 36)} \approx 1,06 \text{ л.}$$

Исходя из полученного результата, а также в соответствии с требованиями по минимизации габаритов, массы и стоимости, выбираем ресивер модели БК-2-300С (баллон кислородный объемом 2 литра и максимальным рабочим давлением 300 бар) [27].

Определим минимально необходимый объем ресивера первой ступени.

Цикличность переключений компрессора по формуле (13):

$$A_1 = \frac{60}{t_{R1} + t_{I1}} = \frac{60 \times 60}{60 + 60} = 30 \text{ ч}^{-1}.$$

Тогда минимальный объем ресивера первой ступени будет равен из (12):

$$V_{R1} = \frac{V_1' \times 60 \times \left[ \frac{L_{B1}}{V_1'} - \left( \frac{L_{B1}}{V_1'} \right)^2 \right]}{A_1 \times (p_{\max 1} - p_{\min 1})} = \frac{2,39}{60} \times 60 \times \left[ \frac{0,77}{2,39} - \left( \frac{0,77}{2,39} \right)^2 \right]}{30 \times (10 - 8)} \approx 8,7 \text{ л.}$$

Исходя из полученного результата, а также в соответствии с требованиями по минимизации габаритов, массы и стоимости, выбираем ресивер модели ВС-LR-10,0 (ресивер вертикальный фирмы Весоол объемом 10 литров и максимальным рабочим давлением 28 бар) [28].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 2.5 Выбор прессостатов

Основные параметры выбора прессостатов:

- 1) диапазон регулирования давления;
- 2) дифференциал давления (разница между давлением, при котором прессостат отключает компрессор, и давлением, при котором компрессор вновь включается).

Дополнительные требования: для проектируемой системы питания прессостаты должны быть с автоматическим сбросом, относительно недорогими и малогабаритными.

### 2.5.1 Выбор прессостата для первой ступени системы питания.

Прессостат предназначен для включения/выключения компрессора первой ступени. Максимальное давление на выходе первой ступени 10 бар. Давление в ресивере должно поддерживаться с допуском -2 бар от максимального значения. По каталогу фирмы Danfoss выбираем прессостат модели КР 5 с диапазоном регулирования от 8 до 32 бар и дифференциалом давления от 1,8 до 6,0 бар [29].

### 2.5.2 Выбор прессостатов для второй ступени системы питания.

Прессостат, подключенный к ресиверу первой ступени, необходим для того, чтобы в случае выхода из строя компрессора первой ступени давление на входе компрессора второй ступени не было слишком низким (т.е. коэффициент усиления компрессора соответствовал тому коэффициенту, на который он рассчитан при нормальном режиме эксплуатации).

Минимальное давление на входе второй ступени, при котором включится компрессор, составляет 7 бар. По каталогу фирмы Danfoss выбираем прессостат модели КР1 с диапазоном регулирования от 0,2 до 7,5 бар и дифференциалом давления от 0,7 до 4,0 бар [29].

Прессостат, подключенный к ресиверу второй ступени, предназначен для включения/выключения компрессора второй ступени. Максимальное давление на выходе второй ступени 40 бар. Давление в ресивере второй ступени должно поддерживаться с допуском -4 бар. По каталогу фирмы Danfoss выбираем



прессостат модели КР6W с диапазоном регулирования от 8 до 42 бар и дифференциалом давления от 4 до 10 бар.

## 2.6 Выбор манометров

Основным критерием выбора манометров для проектируемой системы питания является соответствие их верхнего предела измерения максимальному рабочему давлению. Требования к высокой точности измерения давления здесь не предъявляются.

Также необходимо учесть способ монтажа приборов – в разрабатываемой конструкции необходимо установить манометры на верхней панели корпуса.

Исходя из этих требований, а также с точки зрения минимизации габаритов и стоимости, по каталогу компании «Манотомь» выбираем манометры модели МП2-УУ2 [30].

Технические характеристики манометров приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики манометров МП2-УУ

Характеристика	Манометр 1 ступени	Манометр 2 ступени
Диапазон измерения, МПа	0 – 2,5	0 – 4,0
Класс точности	1,5	
Способ монтажа	панельный (исполнение – с осевым штуцером и передним фланцем)	

## 2.7 Выбор вентиля

Вентили выбираются по максимальному рабочему давлению, которое они могут выдержать. Необходимый способ монтажа вентиля – панельный (установка на верхней панели системы питания).

Исходя из этих требований, а также с точки зрения минимизации габаритов и стоимости, по каталогу компании «Ну-Lok» выбираем шаровые вентили для панельного монтажа модели В1V3Н-6М с максимальным давлением 172 бар [31].

## 2.8 Выбор пневматического распределителя

Выбор пневмораспределителя осуществляют на основе необходимого перепада давления на входе и выходе распределителя (открывающий перепад давления) и максимального рабочего давления. Максимальная разница между давлением на выходе компрессора второй ступени и давлением в ресивере первой ступени составляет 32 бар.

Исходя из этих данных, а также в соответствии с требованиями по минимизации стоимости, выбираем пневмораспределитель модели EVR3 фирмы Danfoss [32].

Технические характеристики пневмораспределителя EVR3:

Открывающий перепад давления, бар.....	35,0
Максимальное рабочее давление, бар.....	45,2
Напряжение питания, В.....	220
Присоединительный диаметр, мм.....	6

## 2.9 Выбор устройств очистки сжатого воздуха.

В проектируемой системе питания необходимо установить фильтр, а также фильтры-влагоотделители с ручным отводом конденсата.

Выбор фильтра необходимо осуществлять на основе максимального рабочего давления, на которое он рассчитан, и степени его фильтрации, учитывая требования по минимизации габаритов и стоимости.

### 2.9.1 Выбор фильтров для первой ступени системы питания.

Давление на входе первой ступени 0,1МПа. Требуемая чистота фильтрации - 50 мкм. Исходя из этого, выбираем фильтр модели LF-D-MINI фирмы FESTO [33] со следующими характеристиками:

- максимальное рабочее давление 1,0МПа;
- тонкость фильтрации 50 мкм;
- присоединительная резьба M18x1,5.

Максимальное рабочее давление на выходе первой ступени составляет 1 МПа. Требуемая чистота фильтрации - 50 мкм. В соответствии с этими данными выбираем фильтр-влаготделитель модели AF20-F01 фирмы SMC [34]:

- максимальное рабочее давление 2,0МПа;
- тонкость фильтрации 50 мкм;
- присоединительная резьба G1/8.

#### *2.9.2 Выбор фильтра для второй ступени системы питания.*

Максимальное рабочее давление на второй ступени составляет 4 МПа. Требуемая чистота фильтрации - 50 мкм.

Средняя стоимость фильтра – влагоотделителя, рассчитанного на такое высокое давление, составляет порядка 15 тыс. рублей. Использование такого фильтра в проектируемой системе питания экономически нецелесообразно.

Поэтому было принято решение о применении более дешевого фильтра высокого давления модели 200-3000 производства ОАО «БАМЗ» (максимальное давление 20МПа) [35] с рядом доработок:

- 1) замена фильтроэлемента;
- 2) изменение присоединительных размеров;
- 3) дополнение конструкции системой слива конденсата.

Стандартный фильтроэлемент фильтра имеет степень фильтрации 150 мкм. Он был заменён на фильтроэлемент модели LF-D-MINI фирмы FESTO со степенью фильтрации 50мкм, со сходными присоединительными размерами [36]. Штуцеры фильтра под накидную гайку дорабатываются, чтобы присоединительная резьба соответствовала G1/8. В крышке фильтра делается отверстие под штуцер, в дальнейшем через него осуществляется слив конденсата.

#### **2.10 Выбор трубок и фитингов.**

В качестве соединительных трубок выбираем трубки из меди марки М1 наружного диаметра 6 мм и толщиной стенки 1 мм (ГОСТ 617-90). Максимальное давление в МПа, которое способна выдержать трубка, вычисляется по формуле из [19]:

					ЮУрГУ –120301.2018.255. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

$$p = \frac{1100s}{d_g} = \frac{1100 \cdot 1}{4} = 275 \text{ МПа.}$$

где  $s$  – толщина стенки трубки, мм;

$d_g$  – внутренний диаметр трубки, мм.

Для уменьшения вибраций устанавливаются гибкие трубки Camozzi PVC 6/4 (трубки из поливинилхлорида в оплетке наружного диаметра 6 мм и толщиной стенки 1 мм с максимальным рабочим давлением 4 МПа) [37] на следующих участках пневматической цепи:

- охладитель 1 ступени – ресивер;
- вход компрессора 2 ступени;
- компрессор 2 ступени – пневмораспределитель;
- охладитель 2 ступени – ресивер;
- компрессоры обеих ступеней – штуцеры залива и слива масла.

В качестве соединительных фитингов для медных трубок в пневмосистеме используем фитинги Ну-Lok с максимальным рабочим давлением 34 Мпа [38] и присоединительной резьбой G 1/8, для гибких трубок – фитинги Camozzi с максимальным рабочим давлением 7,5 МПа и присоединительной резьбой G1/8 [39].

**Вывод по разделу 2:** на основе пневматической схемы системы питания, были произведены требуемые расчеты на теоретическую и реальную производительность компрессоров, определение температуры сжатого воздуха, работу сжатия и перемещения воздуха в компрессоре, тепловую мощность, выделяемую компрессорами при сжатии воздуха и выделяющуюся с поверхностей змеевиков при охлаждении газа до комнатной температуры, расчет необходимой площади поверхности теплообмена, минимально необходимую площадь поверхности и длины трубки змеевиков, общую тепловую мощность, отводимую от поверхностей компрессора и змеевика, минимально необходимый объем приточного воздуха, минимально необходимый объем ресиверов. На основе выполненных расчетов были выбраны необходимые элементы.

### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ

#### 3.1 Проектирование охлаждающего устройства

На рисунке 3.1 представлен змеевик с рассчитанной длиной трубки 955мм, с внутренним диаметром  $d_1=4$ мм и наружным диаметром  $d_2=6$ мм. Конструкторский документ змеевика – чертеж 120301.2018.255.01.01 (Приложение А).

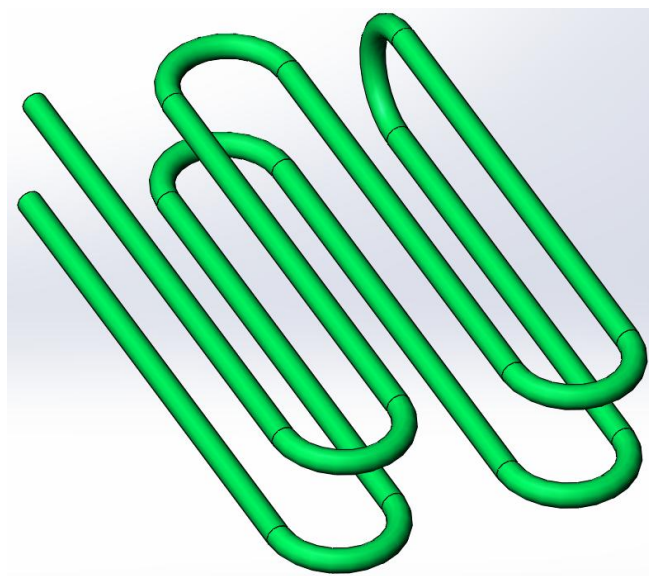


Рисунок 3.1 – Змеевик

Змеевик устанавливается в пазы гребенки (Рисунок 3.2). Конструкторский документ гребенки – чертеж 120301.2018.255.01.02 (Приложение А).

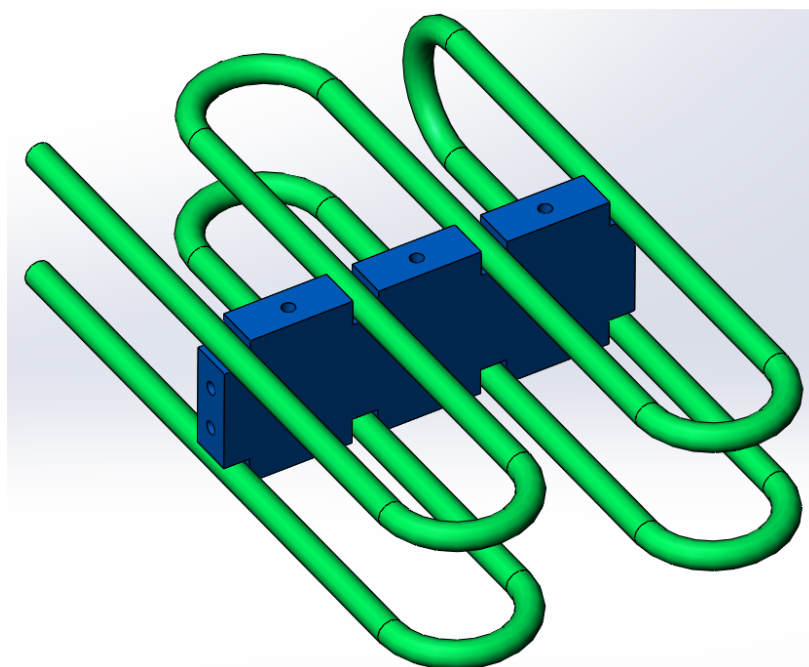


Рисунок 3.2 – Змеевик с гребенкой

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Змеевик с гребенкой закрепляются прижимными планками с помощью винтов М3х6 ГОСТ 17475-80 (Рисунок 3.3). Конструкторские документы прижимных планок – чертежи 120301.2018.255.01.03 и 120301.2018.255.01.04 соответственно (Приложение А).

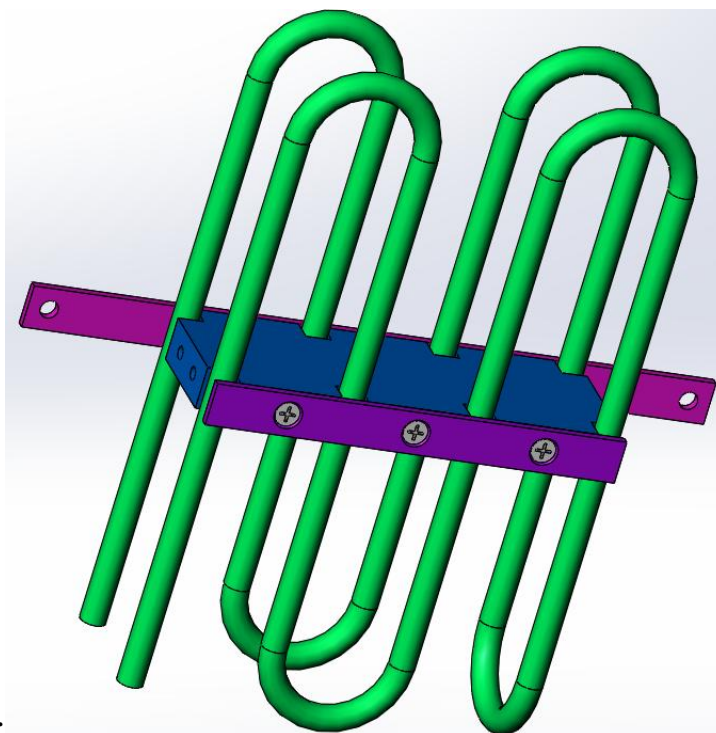


Рисунок 3.3 – Закрепление прижимных планок

По бокам гребенки устанавливаются кронштейны с помощью винтов М3х6 ГОСТ 11650-80 (Рисунок 3.4). Конструкторский документ кронштейна – чертеж 120301.2018.255.01.05 (Приложение А).

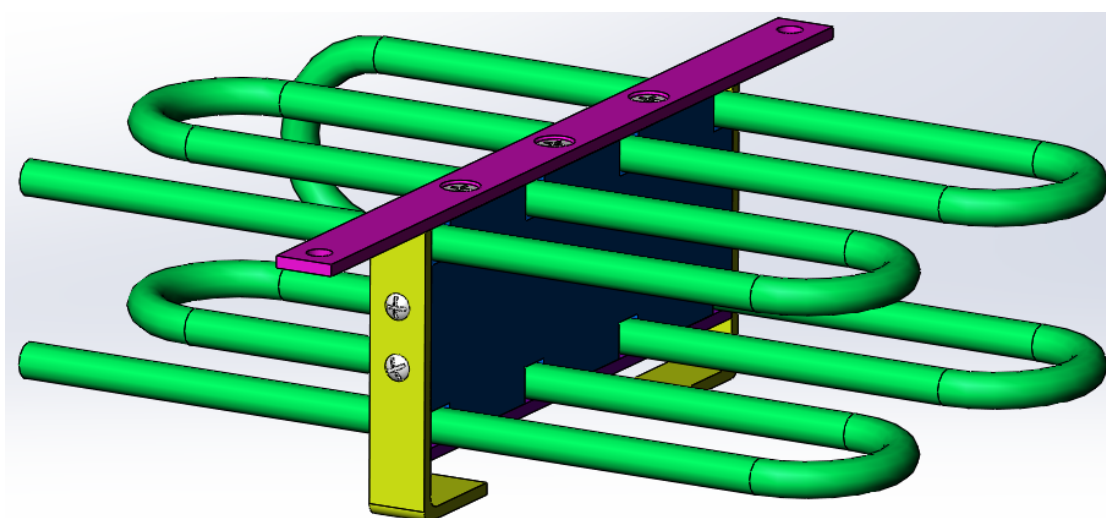


Рисунок 3.4 – Установка кронштейнов

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

На рисунке 3.5 представлен смоделированный стандартный вентилятор марки G12038HA2BT фирмы JIULONG.

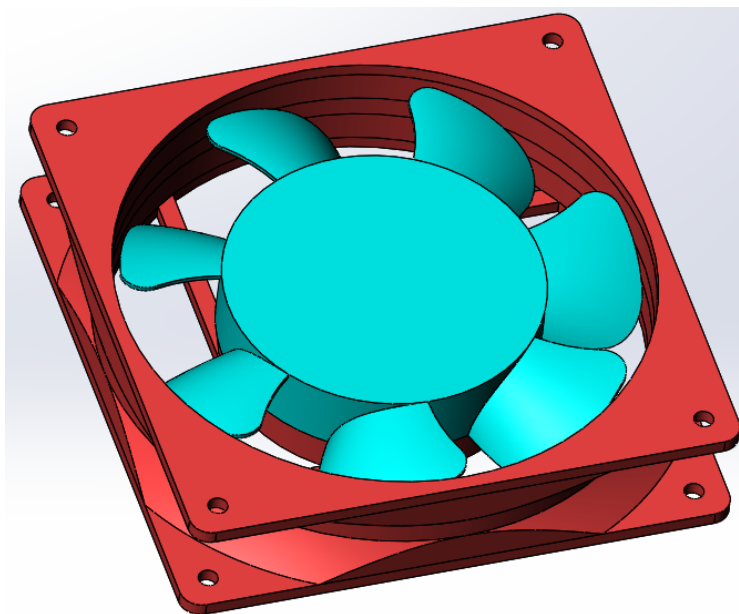


Рисунок 3.5 – Вентилятор JIULONG G12038HA2BT

Вентилятор устанавливается на прижимную планку 120301.2018.255.01.03 с помощью винтов М4х32 ГОСТ 17473-80 и гаек М4 ГОСТ 5927-70 (Рисунок 3.6). Конструкторский документ данной сборки – чертеж 120301.2018.255.01.00 СБ со спецификацией 120301.2018.255.01.00 СП (Приложение А).

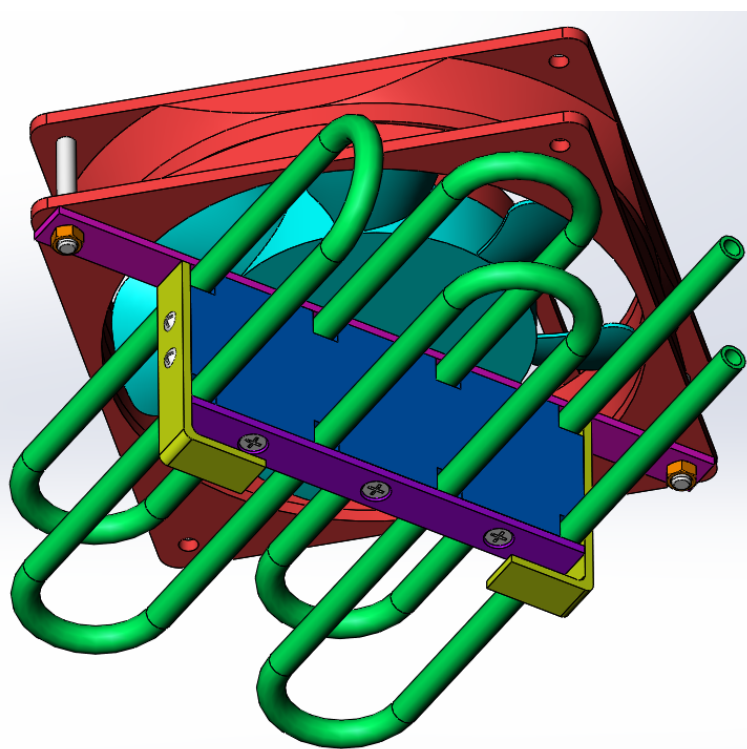


Рисунок 3.6 – Охлаждающее устройство



### 3.2 Проектирование элементов системы питания.

На рисунке 3.7 представлен вид спроектированного поршневого компрессора фирмы Tecumseh модели AEZ4430Z.

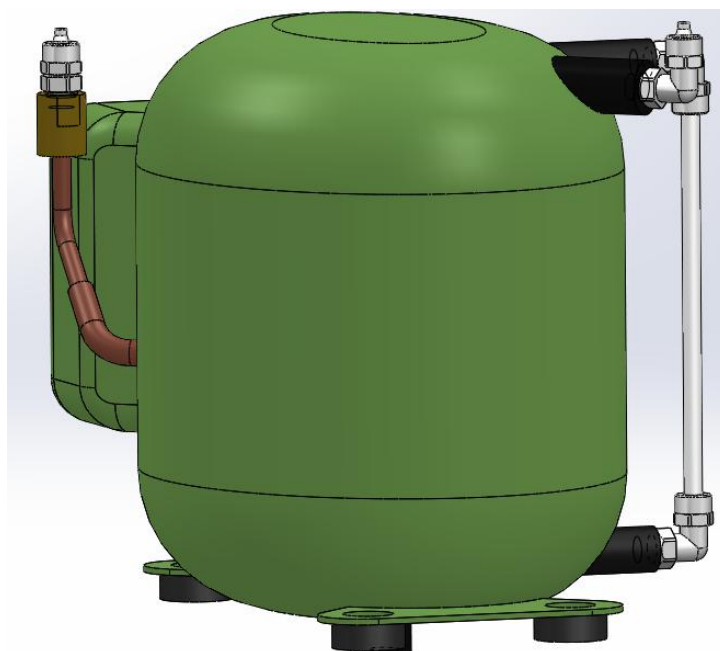


Рисунок 3.7 – Компрессор Tecumseh AEZ4430Z

Ниже изображен поршневой компрессор модели SC18G фирмы Danfoss (Рисунок 3.8).

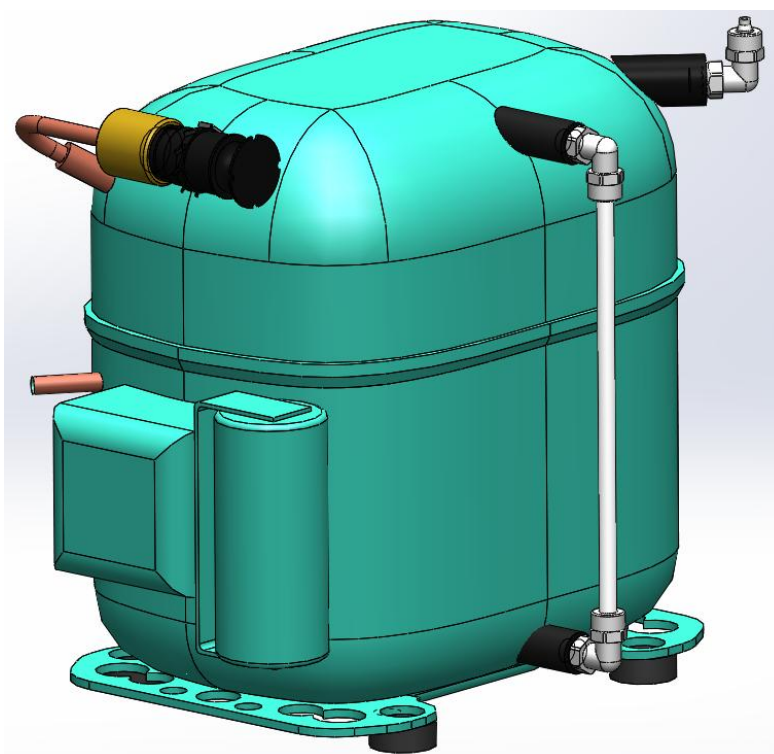


Рисунок 3.8 – Компрессор Danfoss SC18G

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



На рисунке 3.9 представлен вид спроектированного баллона-ресивера фирмы Весоол модели ВС-LR-10,0.



Рисунок 3.9 – Ресивер Весоол ВС-LR-10,0

Ниже изображен пневмораспределитель фирмы Danfoss модели EVR3 (Рисунок 3.10).

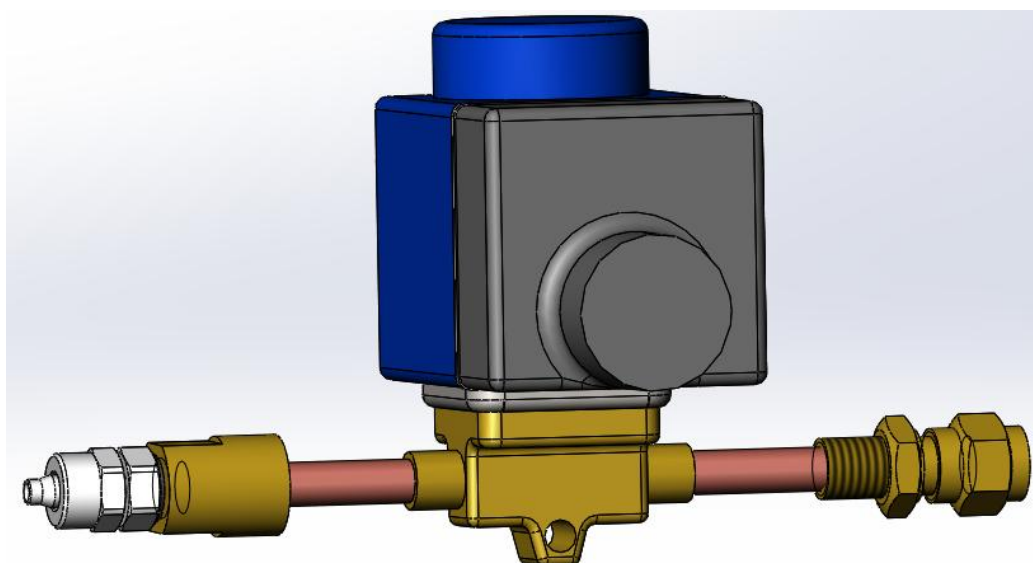


Рисунок 3.10 – Пневматический распределитель Danfoss EVR3

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

На рисунке 3.11 представлен вид спроектированного фильтра системы питания. Конструкторский документ фильтра – чертеж 120301.2018.255.02.00 СБ со спецификацией 120301.2018.255.02.00 СП (Приложение А).

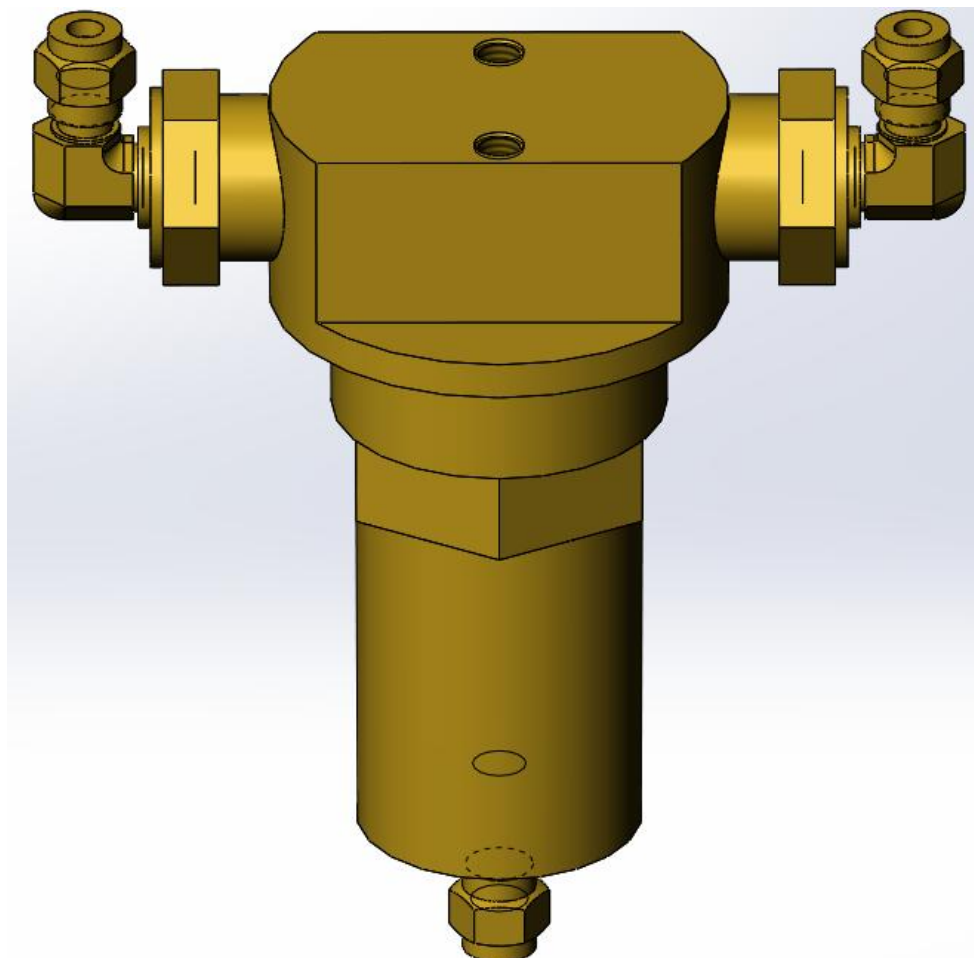


Рисунок 3.11 – Фильтр системы питания

В данном разделе были представлены виды наиболее ответственных элементов системы питания.

### **3.2 Расположение элементов в корпусе системы питания.**

Корпус системы питания представляет собой сваренный из стальных профилей каркас (Рисунок 3.12, а), к которому саморезами прикручиваются панели из алюминия (Рисунок 3.12, б).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

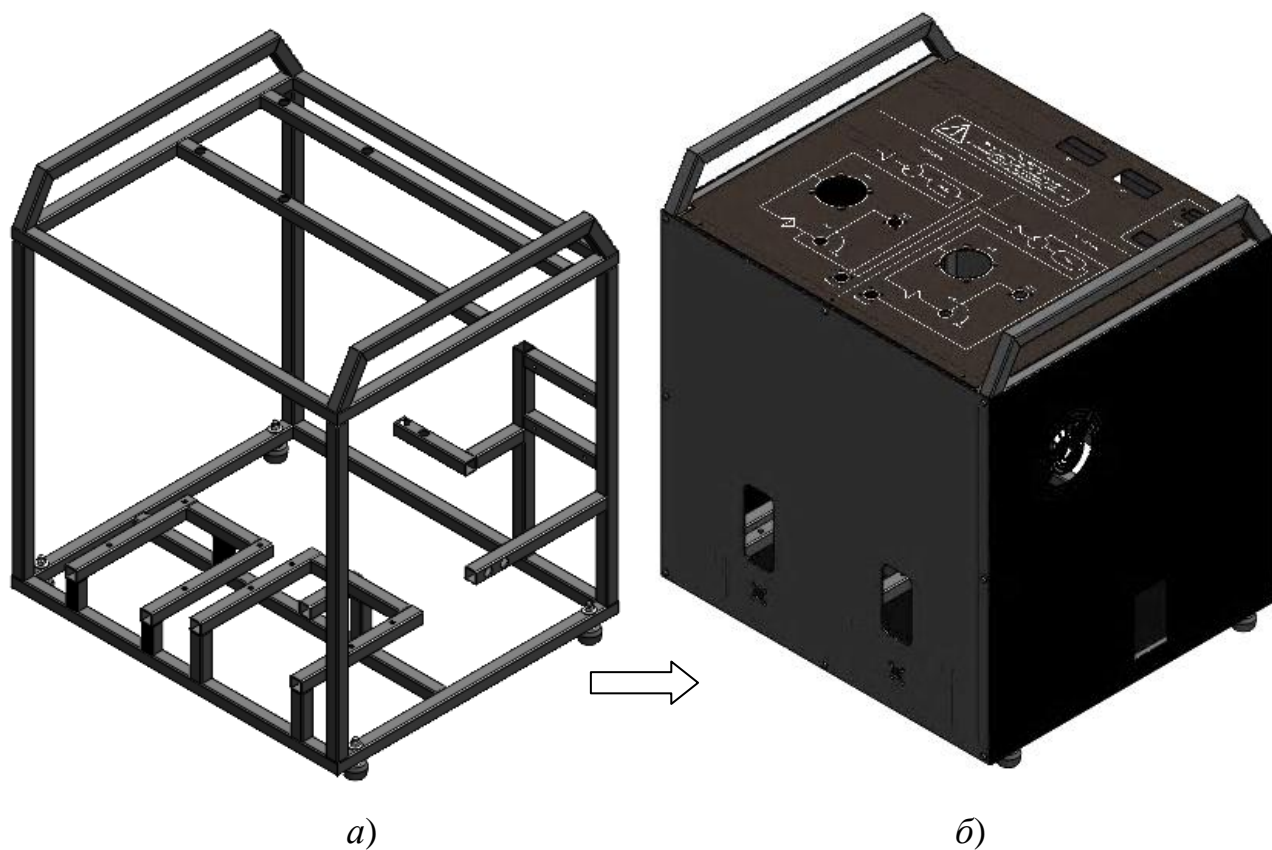


Рисунок 3.12 – Корпус системы питания

Элементы системы питания необходимо разместить в корпусе таким образом, чтобы обеспечить удобство сборки и дальнейшей эксплуатации системы, выполняя при этом требования по минимизации габаритов [40].

Компрессоры располагаются штуцерами уровня масла к передней панели корпуса. С целью облегчения замены масла они приподняты относительно нижней панели. Для удобства электрического монтажа компрессоры обращены клеммными коробками к боковым панелям корпуса (Рисунок 3.13).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

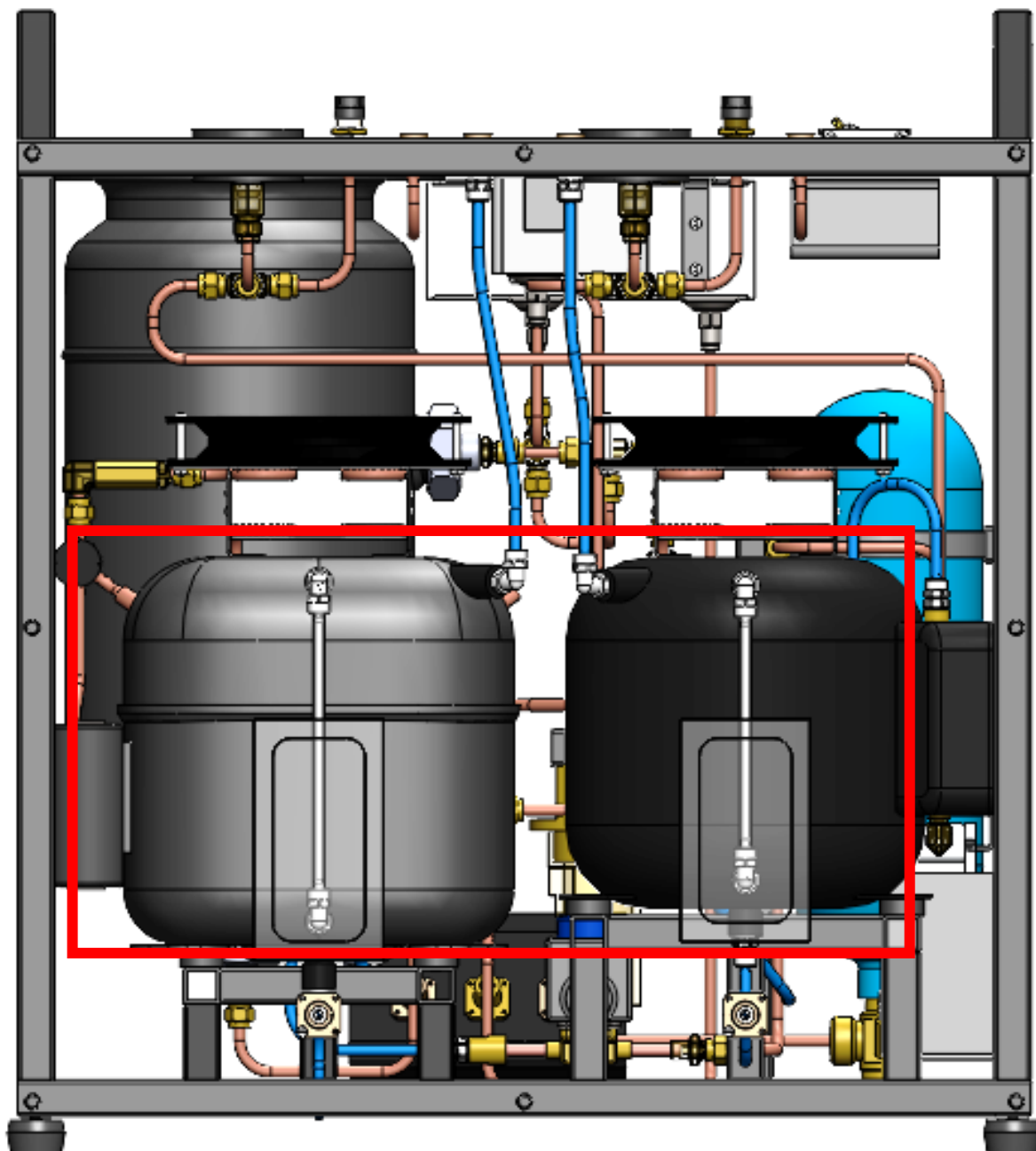


Рисунок 3.13 – Расположение компрессоров

Прессостаты установлены у верхней панели для удобства регулирования давления (Рисунок 3.14). На задней панели корпуса предусмотрены смотровые окна контроля настроек прессостатов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

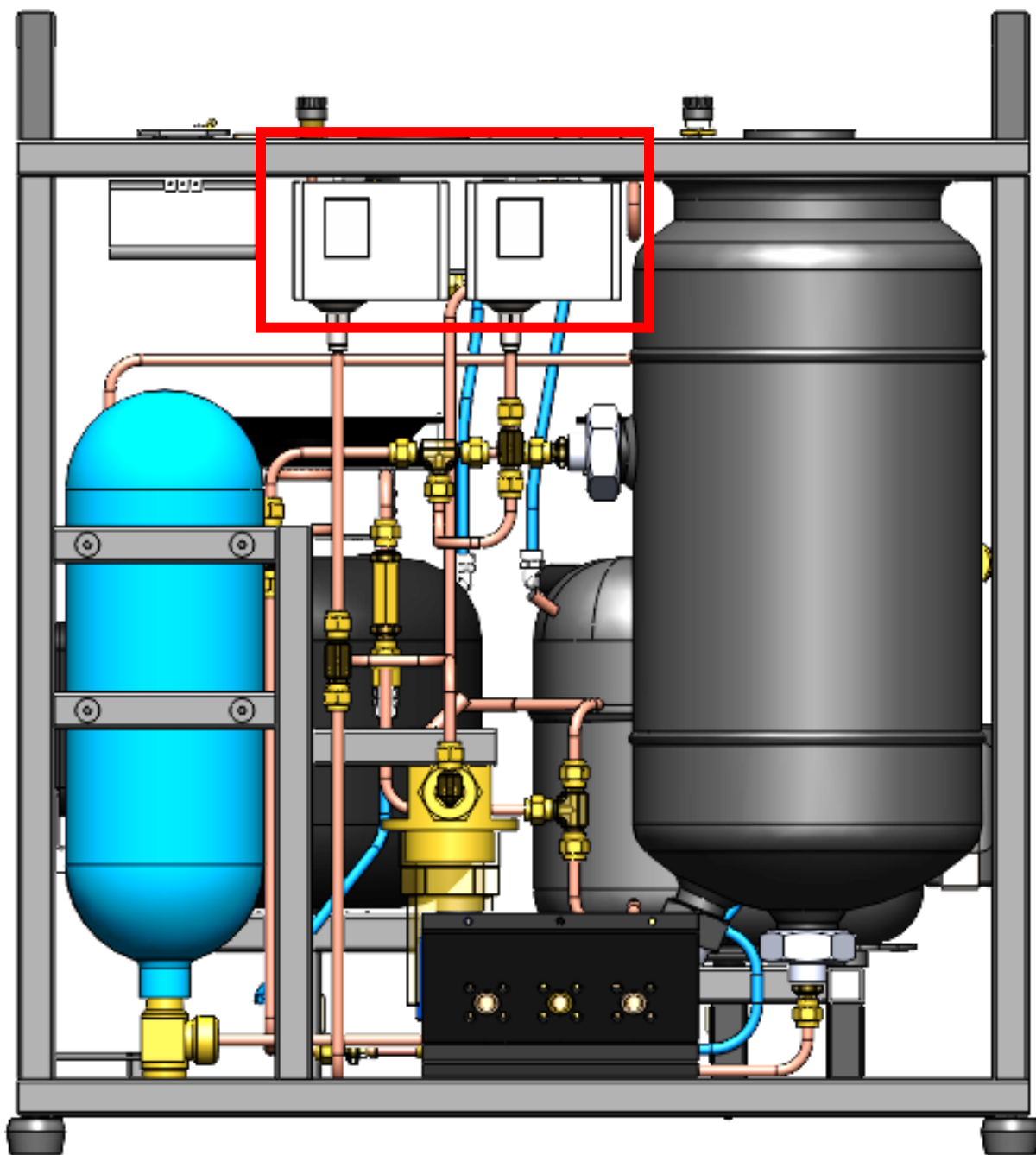


Рисунок 3.14 – Расположение прессостатов

Выходной фильтр первой ступени расположен у боковой панели для удобства слива конденсата (Рисунок 3.15).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

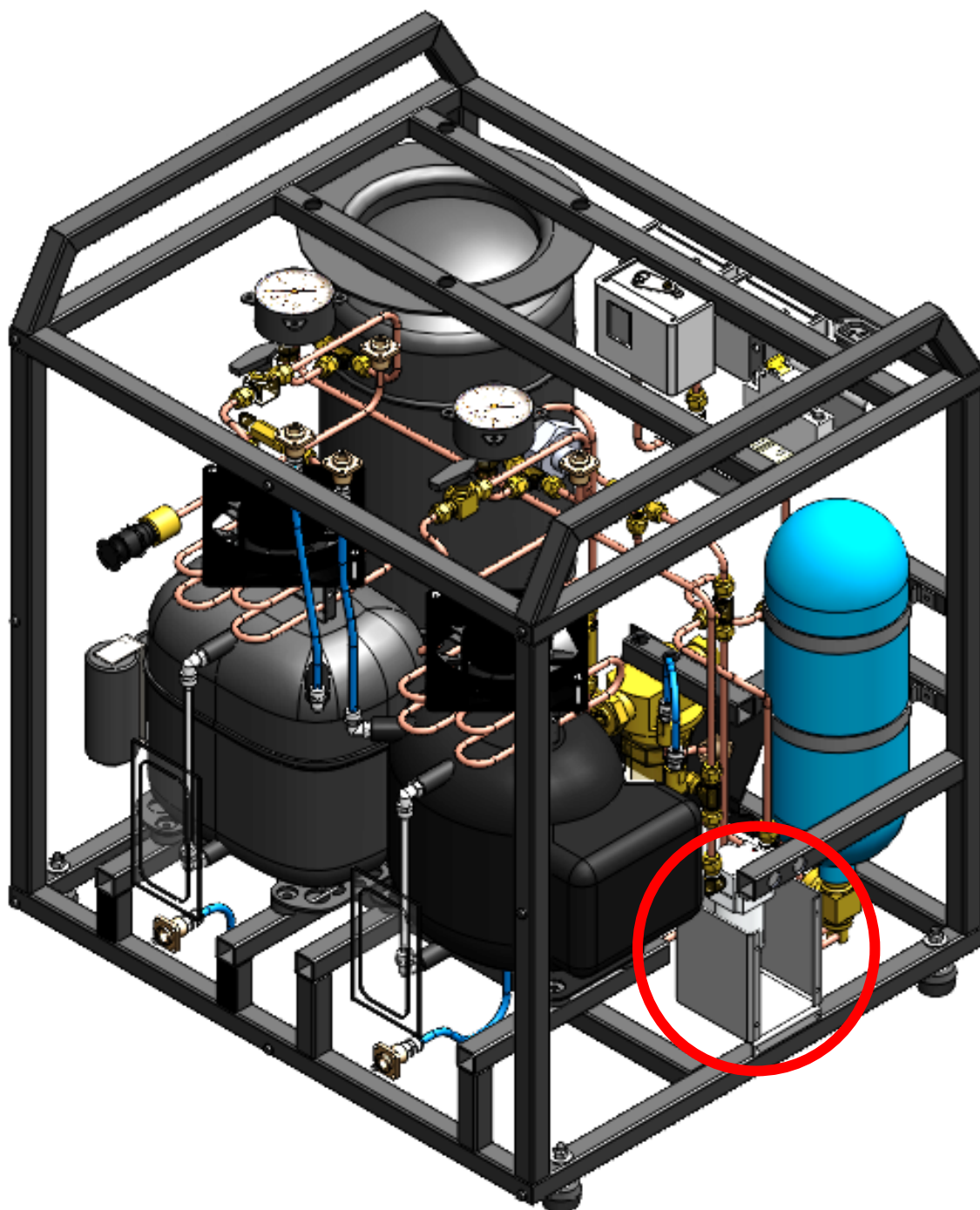


Рисунок 3.15 – Расположение выходного фильтра 1 ступени

Манометры вынесены на верхнюю панель корпуса для удобства контроля давления в ресиверах (Рисунок 3.16).

Остальные элементы системы питания расположены с точки зрения минимизации габаритов и удобства сборки пневмосистемы.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

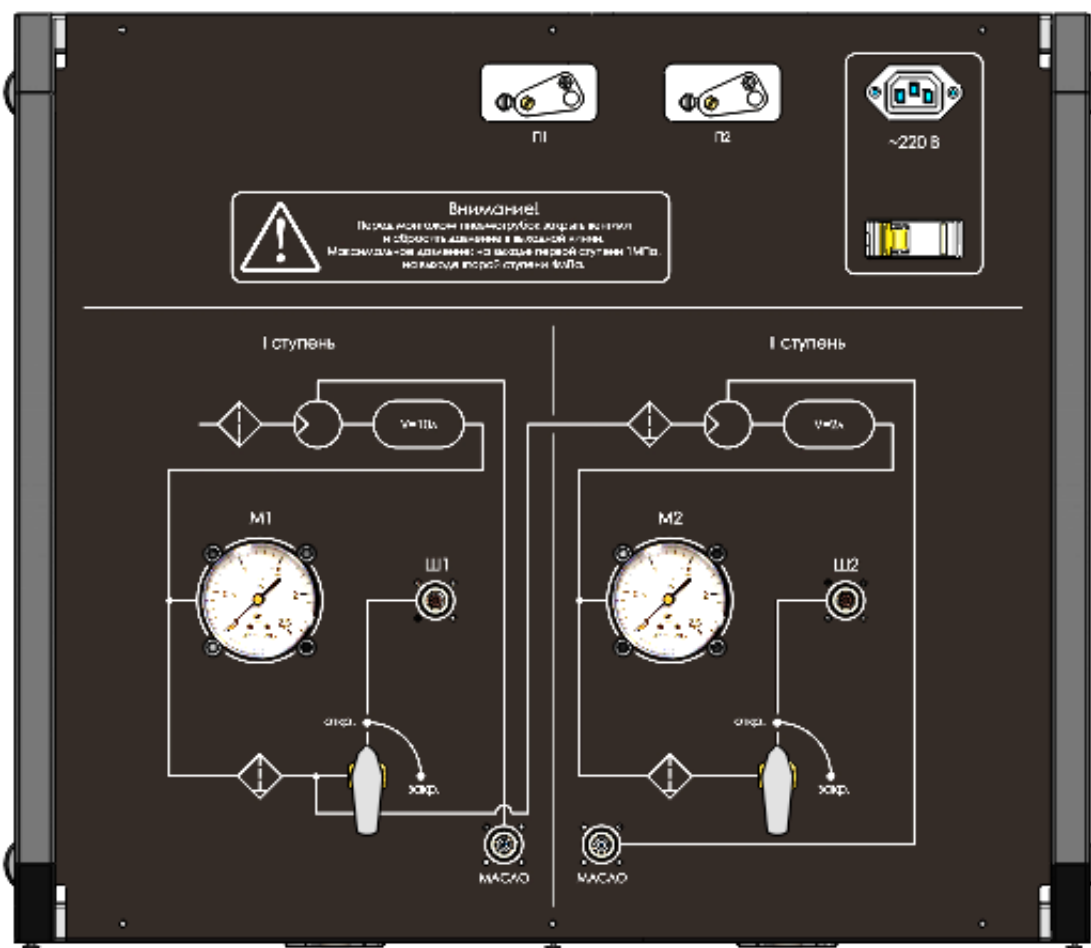


Рисунок 3.16 – Расположение манометров на верхней панели

**Вывод по разделу 3:** на основании выполненных расчетов и подбора комплектующих были спроектированы 3D-модели элементов системы питания сжатым воздухом с их взаимным расположением в корпусе. Поэтапно разобран принцип сбора охладителя. Представлены спроектированные виды основных элементов системы питания, таких как: охлаждающее устройство, компрессоры 1 и 2 ступени, ресивер 2 ступени, пневмораспределитель и выходной фильтр. Изготовлен комплект основных чертежей.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



## 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

В данном разделе производится разработка следующих технологических процессов (ТП):

- 1) доработка штуцера выходного фильтра системы питания;
- 2) изготовление переходника для фильтра;
- 3) доработка стакана фильтра;
- 4) сборка выходного фильтра.

Конструкторские документы, на основании которых производится разработка перечисленных технологических процессов:

- 1) 120301.2018.255.03.02 «Штуцер»;
- 2) 120301.2018.255.03.01 «Переходник»;
- 3) 120301.2018.255.02.01 «Стакан»;
- 4) 120301.2018.255.03.00 СБ «Переходник»;
- 5) 120301.2018.255.02.00 СБ «Фильтр».

Чертежи представлены в приложении А.

Тип производства – единичный. Особенности этого типа производства заключаются в том, что рабочие места не имеют глубокой специализации, применяются универсальное оборудование и технологическая оснастка, на каждом рабочем месте выполняются весьма разнообразные операции.

### 4.1 Анализ исходных данных

В качестве выходного фильтра используется фильтр модели 200-3000 производства ОАО «БАМЗ» с рядом доработок. Решение об изменении конструктива стандартного фильтра было принято исходя из следующих соображений: средняя стоимость фильтра – влагоотделителя, рассчитанного на высокое давление (4 МПа), составляет порядка 15 тыс. рублей, а стоимость фильтра модели 200-3000 (максимальное давление 20МПа) – 2,5 тыс. рублей.

Поэтому в проектируемой системе питания экономически целесообразнее использовать фильтр 200-3000 с доработками, нежели соответствующий всем требованиям, но более дорогой, фильтр другой модели.

											Лист
											76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ –120301.2018.255. ПЗ						



К доработкам фильтра относятся:

1. Замена фильтроэлемента.

Стандартный фильтроэлемент имеет степень фильтрации 150 мкм. Он заменяется на фильтроэлемент модели LF-D-MINI фирмы FESTO со степенью фильтрации 50мкм со сходными присоединительными размерами.

2. Дополнение конструкции системой слива конденсата.

Конструкция используемого фильтра не предусматривает слив конденсата. Поэтому в стакане фильтра делается отверстие под штуцер, через который в дальнейшем будет сливаться конденсат.

3. Изменение присоединительных размеров.

Штуцеры фильтра под накидную гайку дорабатываются, чтобы присоединительная резьба соответствовала используемым в конструкции системы питания фитингам (G1/8).

#### 4.2 Технологический процесс доработки штуцера

Конструкторским документом, на основании которого производится разработка технологического процесса доработки штуцера, является чертеж 120301.2018.255.03.02.В качестве заготовки используем стандартный штуцер фильтра 200-3000 (Рисунок 4.1).

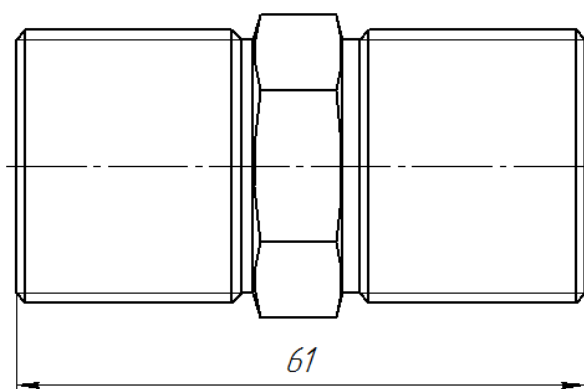


Рисунок 4.1 – Штуцер фильтра 200-3000

Список операций ТП доработки штуцера:

1. Входной контроль.

									Лист
									77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

2. Токарная.

3. Контроль.

Приведем обоснование и подробное описание перечисленных операций.

1. Входной контроль

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

Оборудование: стол универсальный.

Инструмент: лупа 10х ГОСТ 25706-83.

2. Токарная

Отрезать заготовку, выдерживая размер 1 (Рисунок 4.2).

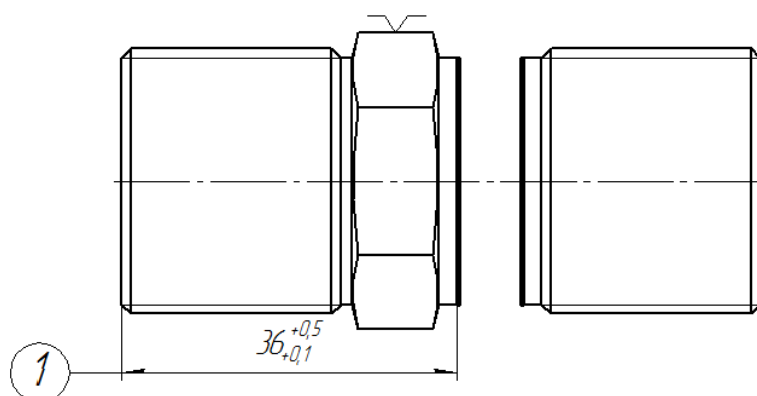


Рисунок 4.2 – Отрезка

Подрезать торец, выдерживая размер 1 (Рисунок 4.3).

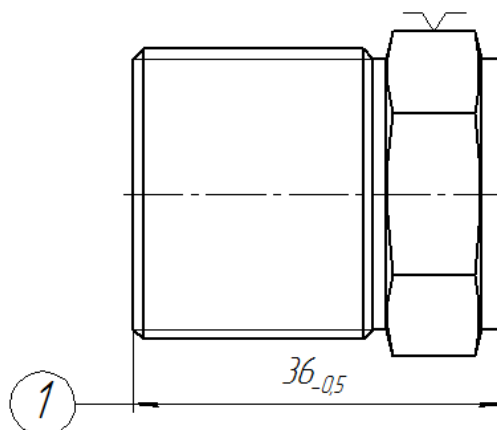


Рисунок 4.3 – Торцевание

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Рассверлить отверстие, выдерживая размеры 1 и 2 (Рисунок 4.4).

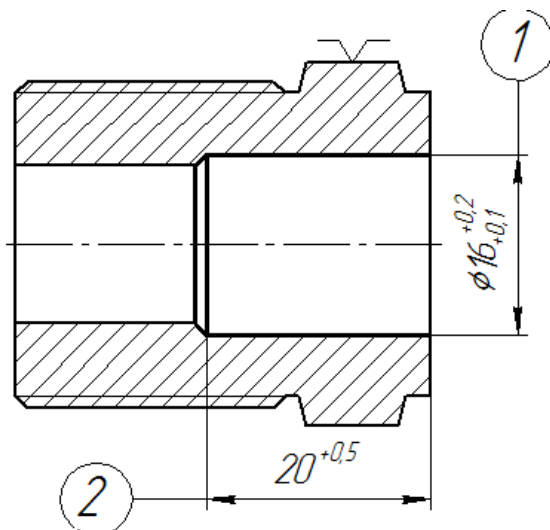


Рисунок 4.4 – Сверление

Снять фаску, выдерживая размер 1 (Рисунок 4.5).

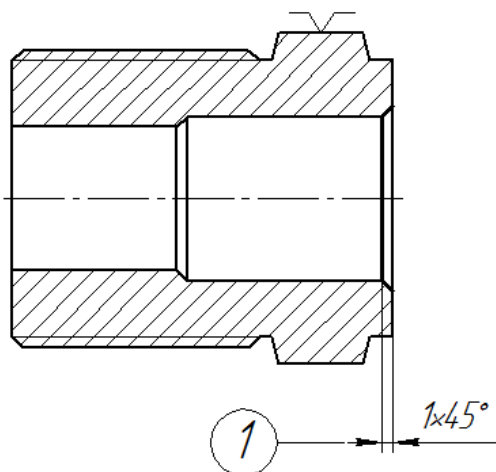


Рисунок 4.5 – Снятие фаски

Оборудование: универсальный токарный станок PROMASPC 900 PA.

Оснастка: трёхкулачковый патрон, центр вращающийся.

Инструмент режущий: резец отрезной, резец проходной левый с углом в плане  $45^\circ$ , сверло диаметром 16 мм.

Инструмент измерительный: штангенциркуль цифровой двухсторонний ШЦЦ-1 ГОСТ 166-89 (цена деления 0.01мм).

3. Контроль

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Выходной контроль проводится с целью проверки соответствия произведённого изделия требованиям чертежа.

Оборудование: стол универсальный.

Инструмент измерительный: штангенциркуль цифровой двухсторонний ШЦЦ-I ГОСТ 166-89 (цена деления 0.01мм).

#### 4.3 Технологический процесс изготовления переходника

Конструкторским документом, на основании которого производится разработка технологического процесса изготовления переходника, является чертеж 120301.2018.255.03.01. В качестве заготовки для изготовления переходника используется пруток ДКРПП 18 НД ЛС59-1 ГОСТ 2060-90 (Рисунок 4.6).

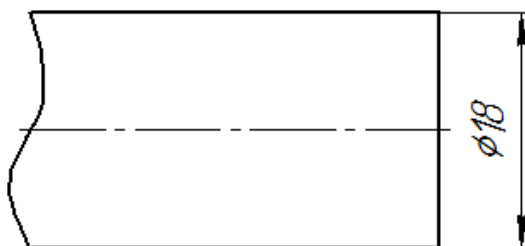


Рисунок 4.6 – Пруток ДКРПП 18 НД  
ЛС59-1 ГОСТ 2060-90

Список операций ТП изготовления переходника:

1. Входной контроль.
2. Токарная.
3. Резьбонарезная.
4. Контроль.

Приведем обоснование и подробное описание перечисленных операций.

1. Входной контроль

Входной контроль проводится для проверки соответствия размеров прутка ДКРПП 18 НД ЛС59-1 ГОСТу 2060-90, а также внешнего вида прутка на отсутствие дефектов (раковин, забоин).

Оборудование: штангенциркуль цифровой двухсторонний ШЦЦ-I ГОСТ 166-89 (цена деления 0.01мм).

## 2. Токарная

Подрезать торец прутка (Рисунок 4.7).

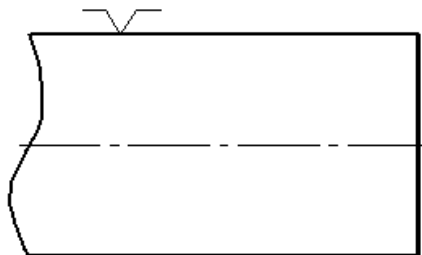


Рисунок 4.7 – Торцевание

Точить поверхность, выдерживая размеры 1 и 2 (Рисунок 4.8).

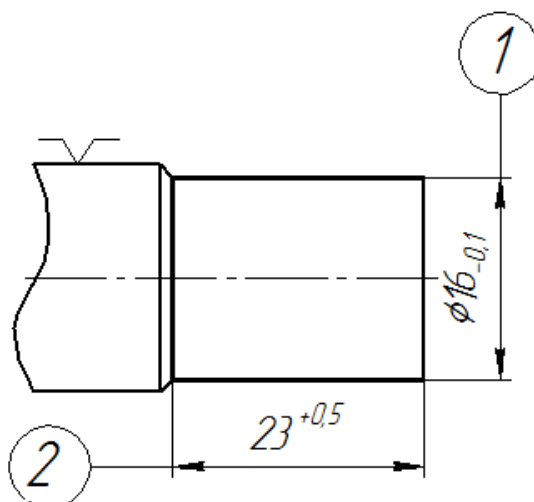


Рисунок 4.8 – Точение

Отрезать деталь, выдерживая размер 1 (Рисунок 4.9).

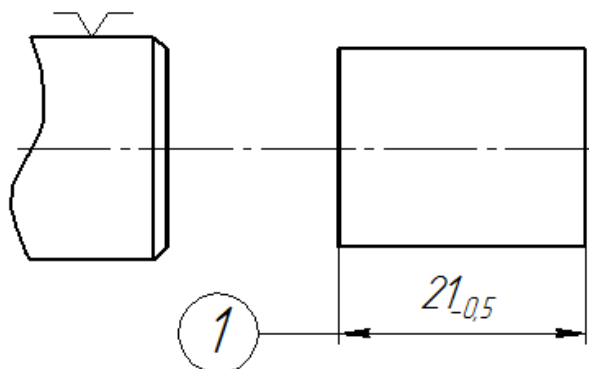


Рисунок 4.9 – Отрезка

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Подрезать торец, выдерживая размер 1 (Рисунок 4.10).

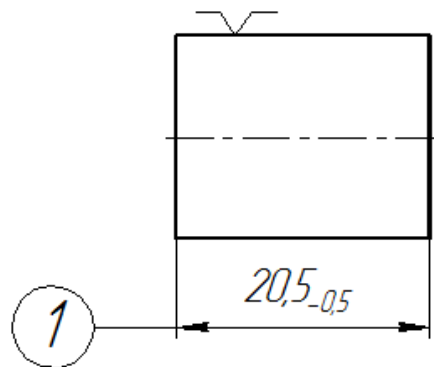


Рисунок 4.10 – Торцевание

Снять фаску, выдерживая размер 1 (Рисунок 4.11).

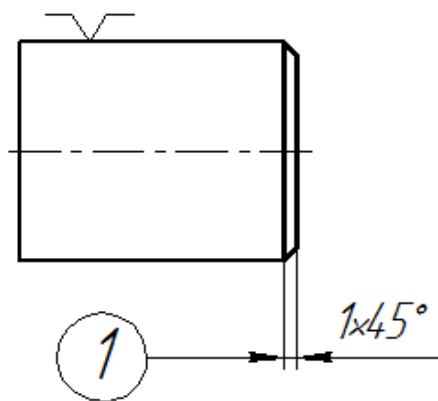


Рисунок 4.11 – Снятие фаски

Центровать торец, выдерживая размеры 1-4 (Рисунок 4.12).

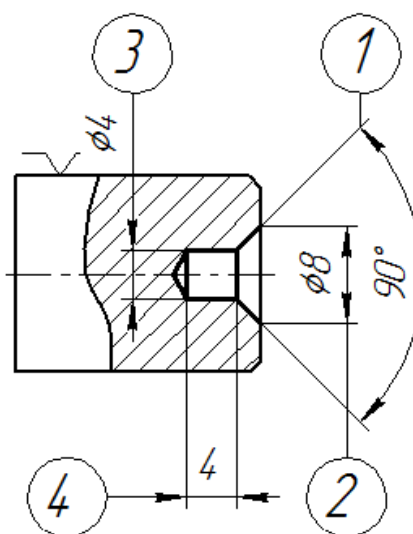


Рисунок 4.12 – Центрование

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Сверлить отверстие, выдерживая размер 1 (Рисунок 4.13).

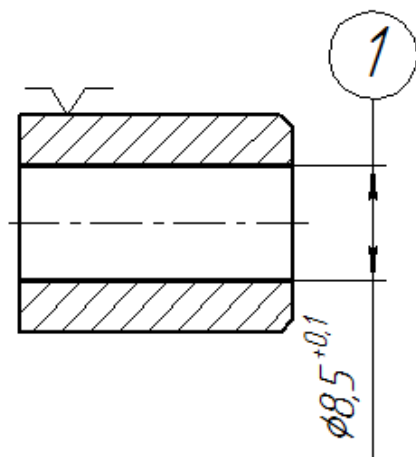


Рисунок 4.13 – Сверление

Снять фаску, выдерживая размеры 1 и 2 (Рисунок 4.14).

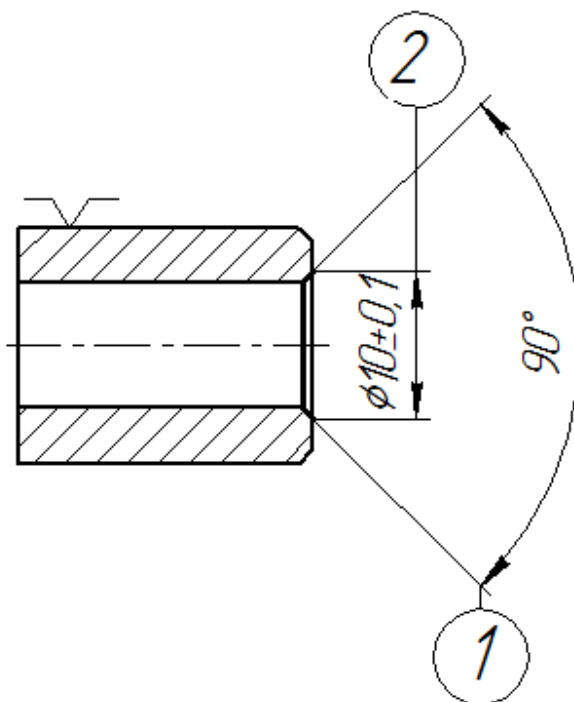


Рисунок 4.14 – Снятие фаски

Оборудование: универсальный токарный станок PROMASPC 900 PA.

Оснастка: трёхлапчатый патрон, центр вращающийся.

Инструмент режущий: резец проходной левый с углом в плане  $45^\circ$ , резец отрезной, сверло центровочное, сверло диаметром 8,5 мм.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Инструмент измерительный: штангенциркуль цифровой двухсторонний ШЦЦ-  
I ГОСТ 166-89 (цена деления 0.01мм).

### 3. Резьбонарезная

Нарезать резьбу, выдерживая размеры 1 и 2 (Рисунок 4.15).

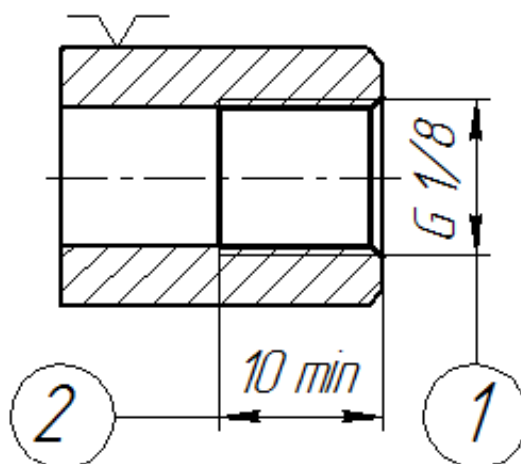


Рисунок 4.15 – Нарезание резьбы

Оборудование: универсальный токарный станок PROMASPC 900 PA.

Оснастка: трёхкулачковый патрон, центр вращающийся.

Инструмент режущий: метчик для дюймовой резьбы G 1/8.

Инструмент измерительный: пробка 1/8" ПР кл.3 ОСТ НКТП 1260, пробка 1/8"  
НЕ кл.3 ОСТ НКТП 1260.

### 4. Контроль

Выходной контроль проводится с целью проверки соответствия  
произведённого изделия требованиям чертежа.

Оборудование: стол универсальный.

Инструмент измерительный: штангенциркуль цифровой двухсторонний ШЦЦ-  
I ГОСТ 166-89 (цена деления 0.01мм).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



#### 4.4 Технологический процесс доработки стакана

Конструкторским документом, на основании которого производится разработка технологического процесса доработки стакана, является чертеж 120301.2018.255.02.01.В качестве заготовки используем стандартный стакан фильтра 200-3000 (Рисунок 4.16).

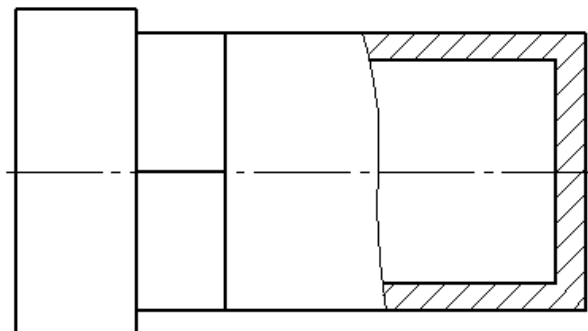


Рисунок 4.16 – Стакан фильтра 200-3000

Список операций ТП изготовления переходника:

1. Входной контроль.
2. Токарная.
3. Резьбонарезная.
4. Контроль.

Приведем обоснование и подробное описание перечисленных операций.

1. Входной контроль

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

Оборудование: стол универсальный.

Инструмент: Лупа 10х ГОСТ 25706-83.

2. Токарная

Центровать торец, выдерживая размеры 1-4 (Рисунок 4.17).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

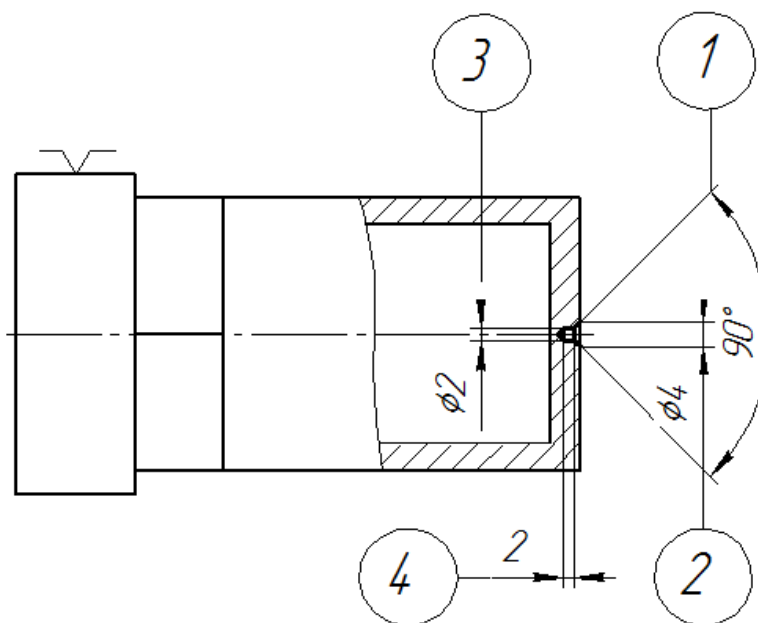


Рисунок 4.17 – Центрование

Сверлить отверстие, выдерживая размер 1 (Рисунок 4.18).

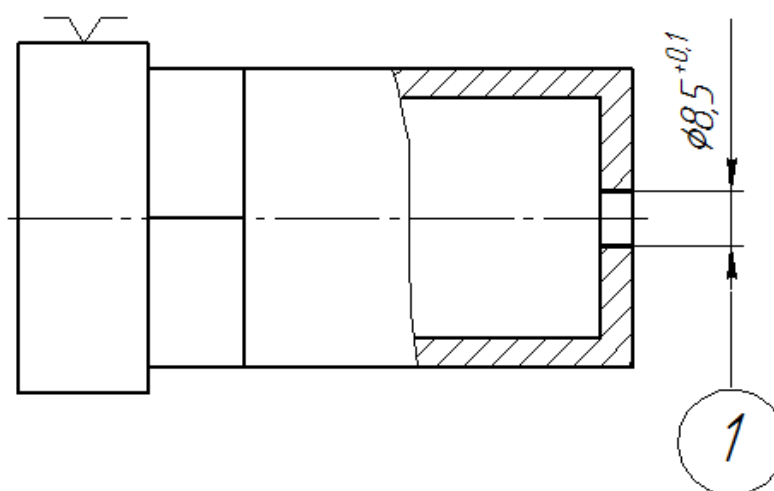


Рисунок 4.18 – Сверление

Снять фаску, выдерживая размеры 1 и 2 (Рисунок 4.19).

Оборудование: универсальный токарный станок PROMASPC 900 PA.

Оснастка: трёхкулачковый патрон, центр вращающийся.

Инструмент режущий: сверло центровочное, сверло диаметром 8,5 мм, резец проходной левый с углом в плане  $45^\circ$ .

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

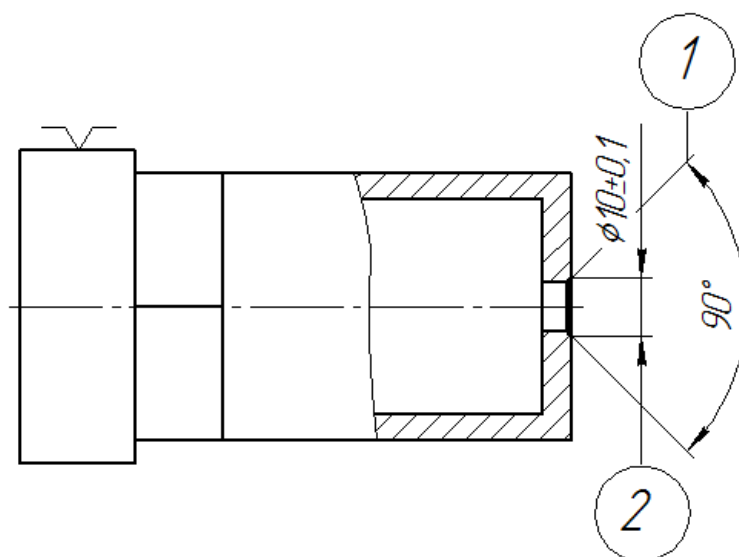


Рисунок 4.19 – Снятие фаски

Инструмент измерительный: штангенциркуль цифровой двухсторонний ШЦЦ-1 ГОСТ 166-89 (цена деления 0.01мм).

### 3. Резьбонарезная

Нарезать резьбу, выдерживая размер 1 (Рисунок 4.20).

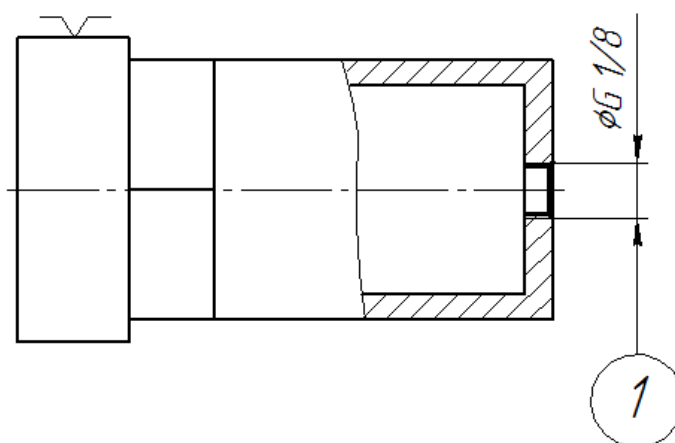


Рисунок 4.20 – Нарезание резьбы

Оборудование: универсальный токарный станок PROMASPC 900 PA.

Оснастка: трёхкулачковый патрон, центр вращающийся.

Инструмент режущий: метчик для дюймовой резьбы G 1/8.

Инструмент измерительный: пробка 1/8" ПР кл.3 ОСТ НКТП 1260, пробка 1/8" HE кл.3 ОСТ НКТП 1260.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

#### 4. Контроль

Выходной контроль проводится с целью проверки соответствия произведённого изделия требованиям чертежа.

Оборудование: стол универсальный.

Инструмент измерительный: штангенциркуль цифровой двухсторонний ШЦЦ-I ГОСТ 166-89 (цена деления 0.01мм).

#### 4.5 Технологический процесс сборки фильтра

Основными конструкторскими документами, на основании которых производится разработка технологического процесса сборки фильтра, являются сборочные чертежи 120301.2018.255.03.00 СБ «Переходник» и 120301.2018.255.02.00 СБ «Фильтр», спецификации 120301.2018.255.03.00 СП и 120301.2018.255.02.00 СП соответственно. На основании конструкторских документов составлена технологическая схема сборки, представленная на рисунке 4.21.

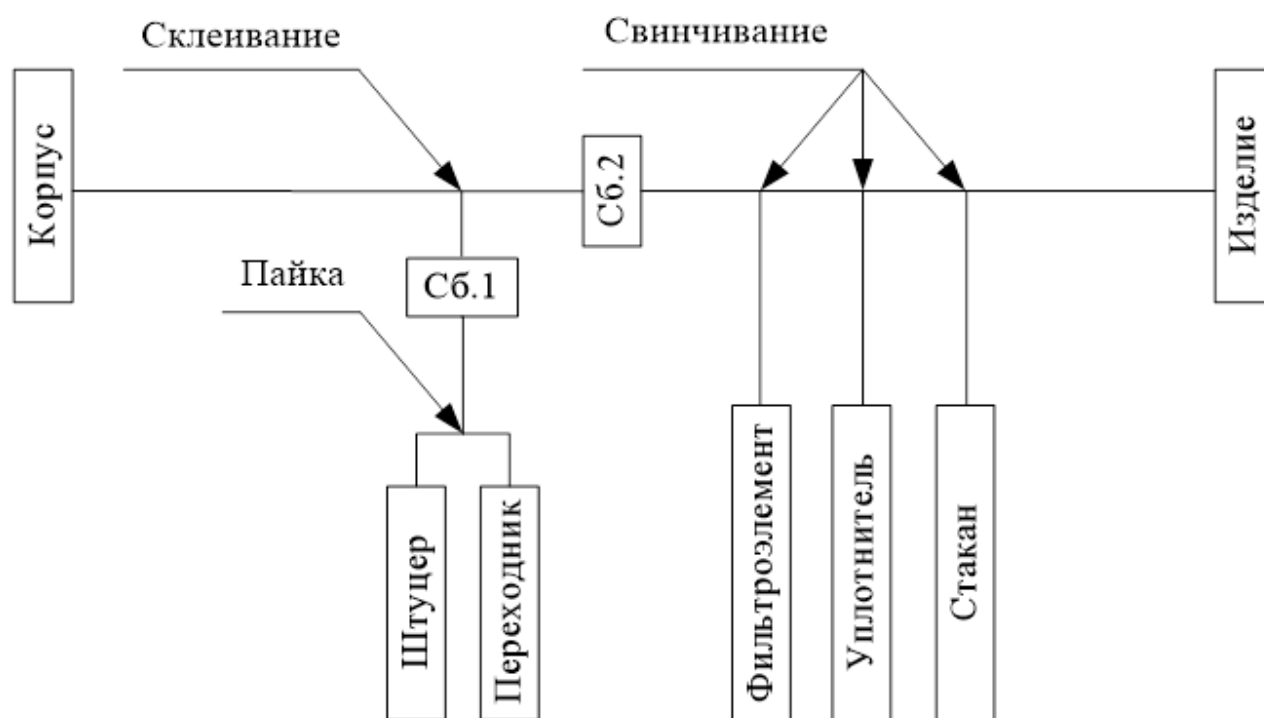


Рисунок 4.21 – Технологическая схема сборки фильтра

Производство является опытным. Организационная форма сборки: стационарная дифференцированная. Она характеризуется тем, что сборка

осуществляется в два этапа: на одном рабочем месте собирают переходник 200101.65.11.314.21.00 СБ, а затем на другом рабочем месте собирают изделие в целом. Последовательность операций сборки отражена в схеме сборки (см. Рисунок 4.21).

Приведем обоснование и подробное описание сборочных операций.

#### 1. Комплектование

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

Оборудование: стол комплектовочный.

#### 2. Входной контроль

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

Оборудование: стол сборщика.

Инструмент: лупа 10х ГОСТ 25706-83.

#### 3. Пайка

Пайка позволяет выполнить герметичное соединение, способное выдержать рабочее давление.

Оборудование: печь конвекционная.

Материалы: припой ПОС61, флюс NC-264-5.

Режим: температура печи 250 °С, время пайки 20 мин.

#### 4. Промывка

Промывка производится для удаления остатков флюса и нагара с поверхностей деталей.

Инструмент: салфетка х/б ГОСТ 29298-92, оснастка для промывки.

Материалы: Спирт этиловый ГОСТ 18300-87.

#### 5. Контроль

					ЮУрГУ –120301.2018.255. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

Контроль пайки производится для проверки качества соединения. В паяном шве не должно быть непропаев и пор, которые приводят к ослаблению соединения и нарушению герметичности конструкции. Также не допускаются загрязнения и остатки флюса. Производится визуально.

Оборудование: стол сборщика.

Инструмент: Лупа 10х ГОСТ 25706-83.

Для проверки герметичности изделия проводится испытание по ГОСТ Р 50554-93.

Переходник, предварительно закрытый с одной стороны заглушкой, помещают в бак с водой. Затем создают в переходнике необходимое испытательное давление, подсоединяя к нему через редуктор баллон со сжатым газом, и определяют места негерметичности изделия по наличию пузырьков газа в соответствии со схемой, представленной на рисунке 4.22.

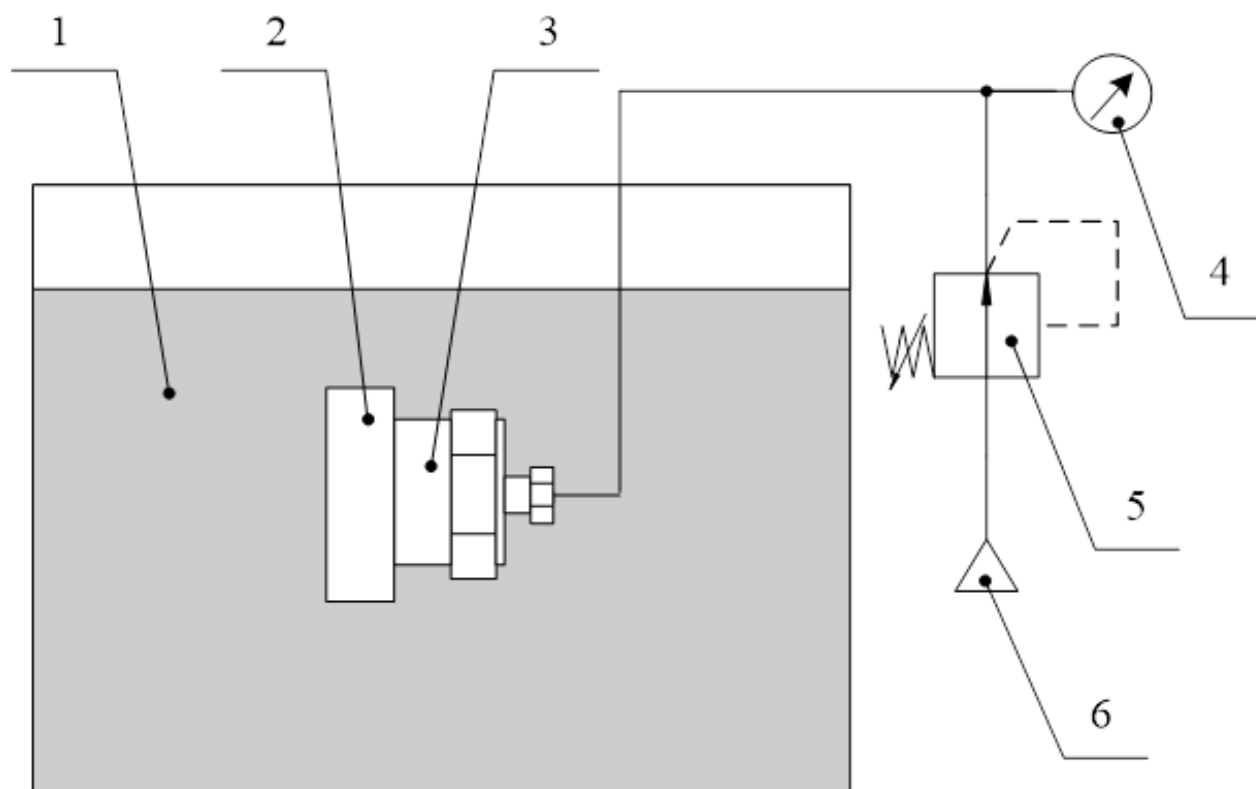


Рисунок 4.22 – Схема испытания переходника на герметичность

1 – бак с водой; 2 – заглушка; 3 – переходник; 4 – манометр;

5 – редуктор; 6 – баллон с газом.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Испытательное давление – 6 МПа.

Оборудование: бак, оснастка для испытания давлением.

Инструмент: баллон аргоновый, редуктор БРВД-250-70, манометр МП2-УУ2  
10МПа.

#### 6. Склеивание

Переходник клеивается в корпус по резьбе для создания прочного герметичного соединения.

Оборудование: стол сборщика.

Инструмент: оснастка для склейки

Материалы: эпоксидный клей 3M SCOTCH-WELD 360M.

Режимы: температура отверждения – 20..25°C, время выдержки – 4 часа.

#### 7. Свинчивание

В корпус фильтра вкручивается фильтроэлемент. Затем в стакан устанавливается уплотнитель, после чего стакан вкручивается в корпус.

Оборудование: стол сборщика.

Инструмент: тисы слесарные ТСС-80, ключ гаечный разводной.

#### 8. Контроль

Выходной контроль проводится визуально с использованием лупы для выявления явных механических повреждений (глубоких царапин, вмятин, забоин, заусенцев).

Оборудование: стол сборщика.

Инструмент: лупа 10х ГОСТ 25706-83.

**Выводы по разделу 4:** в данном разделе выполнена разработка технологического процесса доработки выходного фильтра системы питания, технологического процесса изготовления переходника для фильтра, а также технологического процесса сборки фильтра. Приведено обоснование целесообразности этих доработок. Также выполнено подробное описание операций с использованием эскизов, на основании чего составлены маршрутные карты разработанных технологических процессов.

										Лист
										91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ –120301.2018.255. ПЗ					

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа ТЗ и обзора аналогов, наиболее подходящих по заданным характеристикам систем питания, и калибраторов, питающихся от них принято решение о проектировании двухступенчатой системы питания, на выходе первой ступени которой давление составляет 1,0МПа, на выходе второй – 4,0МПа. Для уменьшения расхода на выходе системы питания устанавливается регулятор расхода. Для обеспечения необходимой степени фильтрации воздуха в конструкции системы питания на выходе обеих ступеней устанавливаются фильтры. Необходимо предусмотреть охлаждающие устройства на выходе из компрессоров обеих ступеней. Составлена пневматическая схема с последующим определением элементов на ее основе и рассмотрением принципов их работы.

На основе пневматической схемы системы питания, были произведены требуемые расчеты на теоретическую и реальную производительность компрессоров, определение температуры сжатого воздуха, работу сжатия и перемещения воздуха в компрессоре, тепловую мощность, выделяемую компрессорами при сжатии воздуха и выделяющуюся с поверхностей змеевиков при охлаждении газа до комнатной температуры, расчет необходимой площади поверхности теплообмена, минимально необходимую площадь поверхности и длины трубки змеевиков, общую тепловую мощность, отводимую от поверхностей компрессора и змеевика, минимально необходимый объем приточного воздуха, минимально необходимый объем ресиверов. На основе выполненных расчетов были выбраны необходимые элементы.

Были спроектированы 3D-модели элементов системы питания сжатым воздухом с их взаимным расположением в корпусе. Поэтапно разобран принцип сбора охладителя. Представлены спроектированные виды основных элементов системы питания, таких как: охлаждающее устройство, компрессоры 1 и 2 ступени, ресивер 2 ступени, пневмораспределитель и выходной фильтр. Разработаны рабочие и сборочные чертежи.

Выполнена разработка технологического процесса доработки выходного фильтра системы питания, технологического процесса изготовления переходника

										Лист
										92
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



для фильтра, а также технологического процесса сборки фильтра. Приведено обоснование целесообразности этих доработок. Также выполнено подробное описание операций с использованием эскизов, на основании чего составлены маршрутные карты разработанных технологических процессов.

Все поставленные задачи решены и цель ВКР достигнута.

					ЮУрГУ –120301.2018.255. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов, Е.В. Развитие эталонов давления серии Метран-500 / Е.В Попов, А.Т. Турчина, А.В. Лазуков, А.В. Сысолякин // Датчики и системы. – 2012. – № 8. – С. 61-66.
2. Калибраторы давления, калибровочные насосы и регуляторы – <http://www.artvik.ru/rus/pressure.html>
3. Ибрагимов, И.А. Элементы и системы пневмоавтоматики: учебное пособие / А.И. Ибрагимов – М: Изд-во Высш. школа, 2006 – 360с.
4. 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 – 544с.
5. Пневматическое и гидравлическое оборудование. Приводные системы. – <http://kampm.ru/articles/111/114/826/>
6. Пат. 2161732 Российская Федерация, МПК 7F 04В 39/10 А. Поршневой компрессор / Б.П. Чоповский, Н.В. Козулин, В.Б. Козулин – № 2161732; заявл. 30.08.1996; опубл. 10.01.2001 – 10с.
7. Наземцев, А.С. Пневматические и гидравлические приводы и системы. Часть 1. / А.С. Наземцев – М. Форум, 2004. – 240 с.
8. Компрессоры и пневматика. // Информационный бюллетень. – 2010. – Вып. июнь.
9. Дмитриев, В.Н., Основы пневмоавтоматики / В.Н. Дмитриев, В.Г. Градецкий. – М.: Машиностроение, 1973. – 550 с.
10. Пат. 2205310 Российская Федерация, МПК 7F 16К 15/14 А. Клапан обратный / Г.Г. Халаев – № 2205310; заявл. 20.05.2005; опубл. 10.06.2007 – 9с.
11. Пат. 2042051 Российская Федерация, МПК 6F 04В 41/02 А. Ресивер / В.А. Евсеев – № 2042051; заявл. 08.01.1992; опубл. 20.08.1995 – 5с.
12. Андреева, Л.Е. Упругие элементы приборов – 2-е изд./ Л.Е. Андреева, перераб. и доп. – М: Машиностроение, 1981. – 392 с.
13. Мулев, М.Ю. Манометры / М.Ю. Мулев. – М.: МЭИ, 2003. – 279 с.

14. Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления. Техническая кибернетика. Измерительные устройства, преобразующие элементы и устройства / под ред. В.В. Солодовникова. – М.: Машиностроение, 1973. – 671с.

15. Иванова, Г.М. Теплотехнические приборы и измерения: учебник для вузов / Г.М. Иванова. – М.: МЭИ, 2005.

16. Поршневой компрессор модели SC18G фирмы Danfoss – [ftp://software.danfoss.com/RA/Russia/ProductCat/148-188/Pages\\_from\\_148-161-Compressors.pdf](ftp://software.danfoss.com/RA/Russia/ProductCat/148-188/Pages_from_148-161-Compressors.pdf)

17. Поршневой компрессор модели AEZ4430Z фирмы Tecumseh – [http://www.tecumseh.ru/tehnicheskaya\\_informaciya\\_tecumseh](http://www.tecumseh.ru/tehnicheskaya_informaciya_tecumseh)

18. Юша, В.Л. Теория, расчёт и конструирование поршневых компрессоров: Учебное пособие по курсовому проектированию / В.Л. Юша. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – 120 с.

19. Пластинин, П.И. Поршневые компрессоры. Теория и расчет. – 3-е изд. / П.И. Пластинин – М.: Колосс, 2006. – Т.1. – 456 с.

20. Характеристики масла компрессорного КЗ-10. – <http://www.expert-oil.com/site.xp/050051053124049048055057.html>

21. Справочник по физико-техническим основам криогеники / М.П. Малков, И.Б. Данилов, А.Г. Зельдович, А.Б. Фрадков; под ред. М.П. Малкова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432с.

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

23. Расчет площади змеевика – <http://www.electrosad.ru/Ohlajd/VentOsn.html>

24. Вентилятор марки G12038HA2BT фирмы JIULONG – <http://www.catalog.compel.ru/fan/info/G12038HA2BT>

25. Обратные клапаны модели VNR-210-1/8 фирмы Camozzi – [http://www.camozzi.ru/documents/pdf/Series\\_SCS-VNR-VSC-VSO.pdf](http://www.camozzi.ru/documents/pdf/Series_SCS-VNR-VSC-VSO.pdf)

26. Расчет объема ресивера – <http://www.immertech.ru/support/compendium/>.

27. Ресивер модели БК-2-300С – [http://www.svarpost.ru/new\\_page\\_4.html](http://www.svarpost.ru/new_page_4.html)

					ЮУрГУ –120301.2018.255. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

28. Ресивер модели BC-LR-10,0 – <http://www.becool.ru/index.php>
29. Прессостат модели КР 5 фирмы Danfoss – <ftp://software.danfoss.com/RA/Russia/ProductCat>
30. Манометры модели МП2-УУ2 компании «Манотомь» – [http://www.manotom-tmz.ru/catalog/item-233-mp2\\_u\\_osh.html](http://www.manotom-tmz.ru/catalog/item-233-mp2_u_osh.html)
31. Шаровые вентили для панельного монтажа модели В1V3Н-6М компании «Ну-Lok» – <http://hylokusa.thomasnet.com/category/>
32. Пневмораспределитель модели EVR3 фирмы Danfoss – [ftp://software.danfoss.com/RA/Russia/ProductCat/3137/Pages\\_from\\_31-33-EVR.pdf](ftp://software.danfoss.com/RA/Russia/ProductCat/3137/Pages_from_31-33-EVR.pdf)
33. Фильтр модели LF-D-MINI фирмы FESTO – [http://www.etm-stroyservice.ru/festo/D-Series\\_0410\\_RU.pdf](http://www.etm-stroyservice.ru/festo/D-Series_0410_RU.pdf)
34. Фильтр-влаготделитель модели AF20-F01 фирмы SMC – <http://www.smcl38.valuehost.ru/c5/af.pdf>
35. Фильтр высокого давления модели 200-3000 производства ОАО «БАМЗ» – [http://www.bamz.su/ru/catalog/one\\_tovar\\_pasport/177-182-12-53.html](http://www.bamz.su/ru/catalog/one_tovar_pasport/177-182-12-53.html)
36. Фильтр модели LF-D-MINI фирмы FESTO – [http://www.etm-stroyservice.ru/festo/D-Series\\_0410\\_RU.pdf](http://www.etm-stroyservice.ru/festo/D-Series_0410_RU.pdf)
37. Гибкие трубки Camozzi PVC 6/4 – [http://www.camozzi.ru/documents/pdf/FITT\\_TUBES.pdf](http://www.camozzi.ru/documents/pdf/FITT_TUBES.pdf).
38. Фитинги Ну-Lok G 1/8 – <http://www.hylokusa.thomasnet.com/category/>
39. Фитинги Camozzi G 1/8 – <http://www.camozzi.ru/documents/pdf/> .
40. Петрунин, И.Е. Справочник по пайке / И.Е. Петрунин; 3-е изд., исправл. – Москва: Изд-во Машиностроение, 1988. – 544 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Спецификации, сборочные чертежи, детализовка.

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<u>Документация</u>		
		A3			12.03.01.2018.255.01.00 СБ	Охладитель		
						<u>Детали</u>		
		A4	1		12.03.01.2018.255.01.01	Змеевик		
		A4	2		12.03.01.2018.255.01.02	Гребенка		
		A4	3		12.03.01.2018.255.01.03	Планка прижимная		
		A4	4		12.03.01.2018.255.01.04	Планка прижимная		
		A4	5		12.03.01.2018.255.01.05	Кронштейн		
						<u>Стандартные изделия</u>		
			6			Винт М4х32 ГОСТ 17473-80		
			7			Гайка М4 ГОСТ 5927-70		
			8			Винт М3х6 ГОСТ 17475-80		
			9			Винт М3х6 ГОСТ 11650-80		
						<u>Прочие изделия</u>		
			10			Вентилятор		
					12.03.01.2018.255.01.00 СП			
Изм.		Лист	№ докум.		Подп.	Дата		
Разраб.		Куликов А.А.					Лит.	Лист
Проб.		Льцова А.А.						Листов
								1 2
Нконтр.		Льцова А.А.					ЮУрГУ кафедра ИНИТ	
Утв.								
Не для коммерческого использования					Копировал		Формат А4	

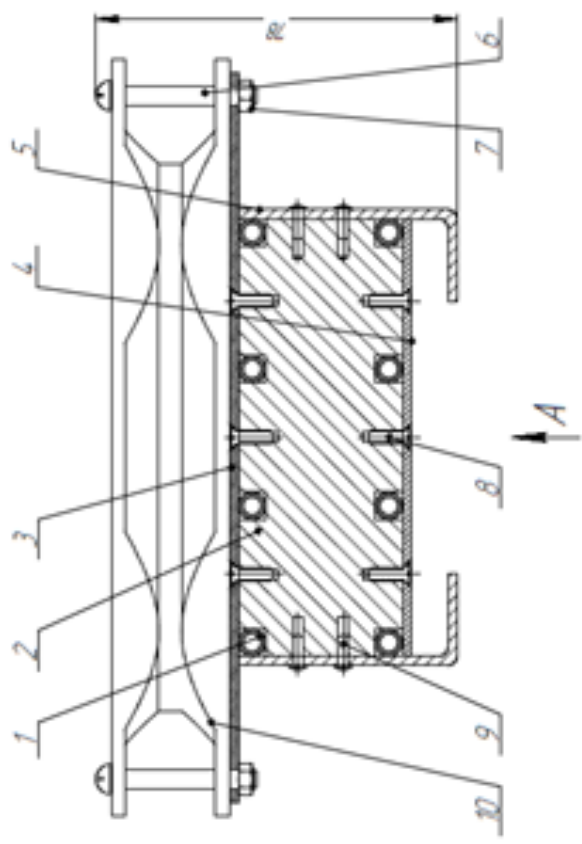
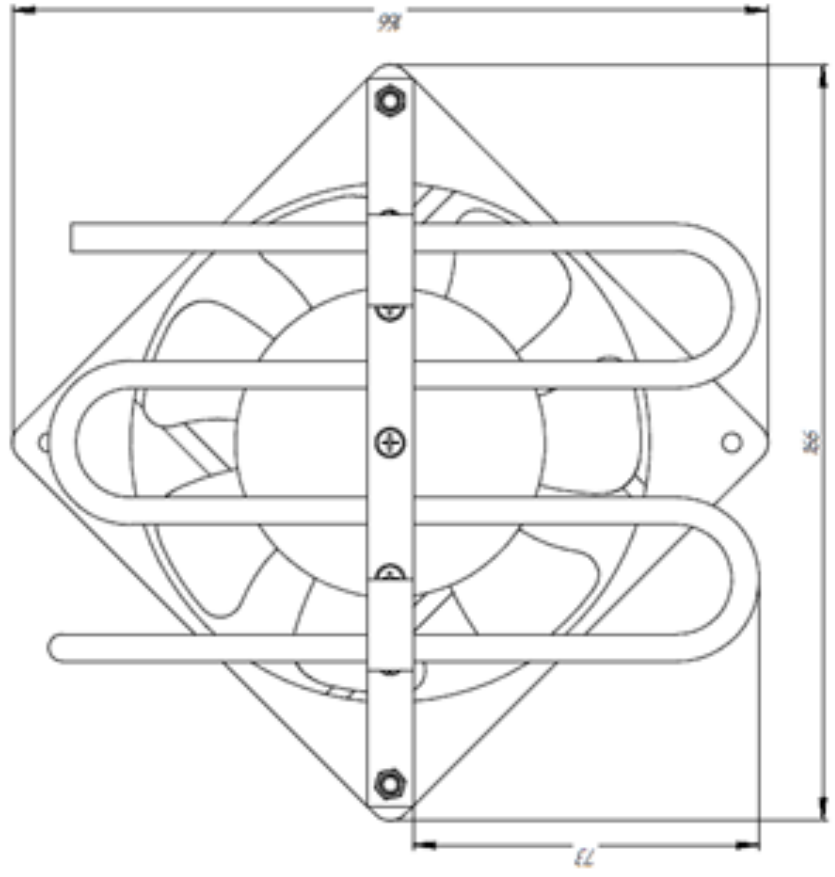
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

12.03.01.2018.255.0100 СБ

Лист № \_\_\_\_\_  
Листов \_\_\_\_\_

ЮУрГУ - 120301.2018.255.0100 СБ  
Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Вид А



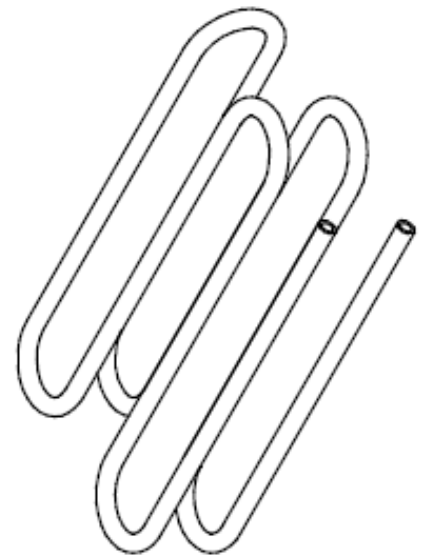
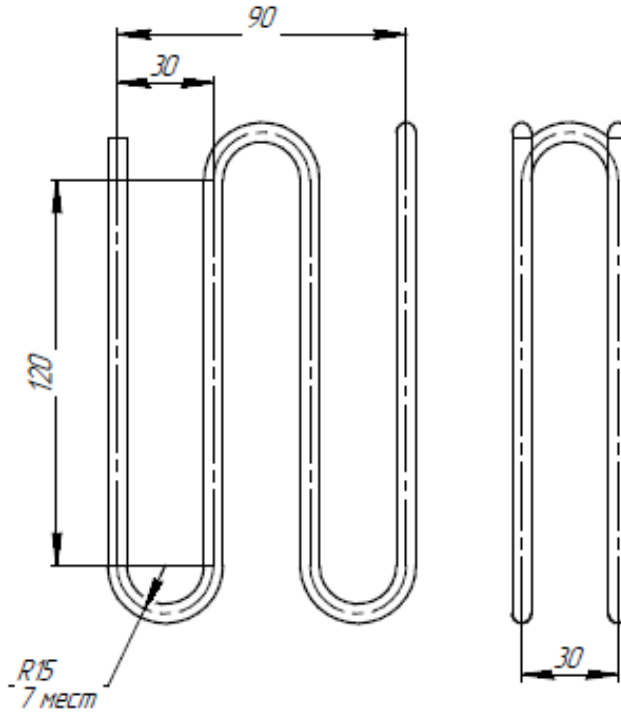
12.03.01.2018.255.0100 СБ

Охладитель

№ п/п	№ докум.	Наим.	Кол.	Длина
1	12.03.01.2018.255.0100 СБ	Охладитель	1	86

12.03.01.2018.255.01.05

$\sqrt{Rz\ 20\ (\sqrt{1})}$



- 1 На поверхности трубки не допускаются царапины, забоины
- 2 Длина трубки 1200 мм
- 3 Неуказанные предельные отклонения размеров Н14, н14,  $\pm \frac{IT14}{2}$

КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСЮН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

Строч. №	Перв. примен.
Взам инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Инд. № подл.	Инд. № подл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Куликов А.А.		
Проб.		Лысова А.А.		
Т.контр.				
Н.контр.		Лысова А.А.		
Утв.				

12.03.01.2018.255.01.05

**Змеевик**

Труба ДКРНТ 6x1 НД М1  
ГОСТ 617-90

Лит.	Масса	Масштаб
	0,185	1:2
Лист	Листов	1
ЮУрГУ кафедра ИНиТ		
Формат А4		

Не для коммерческого и иного использования

Копировал

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

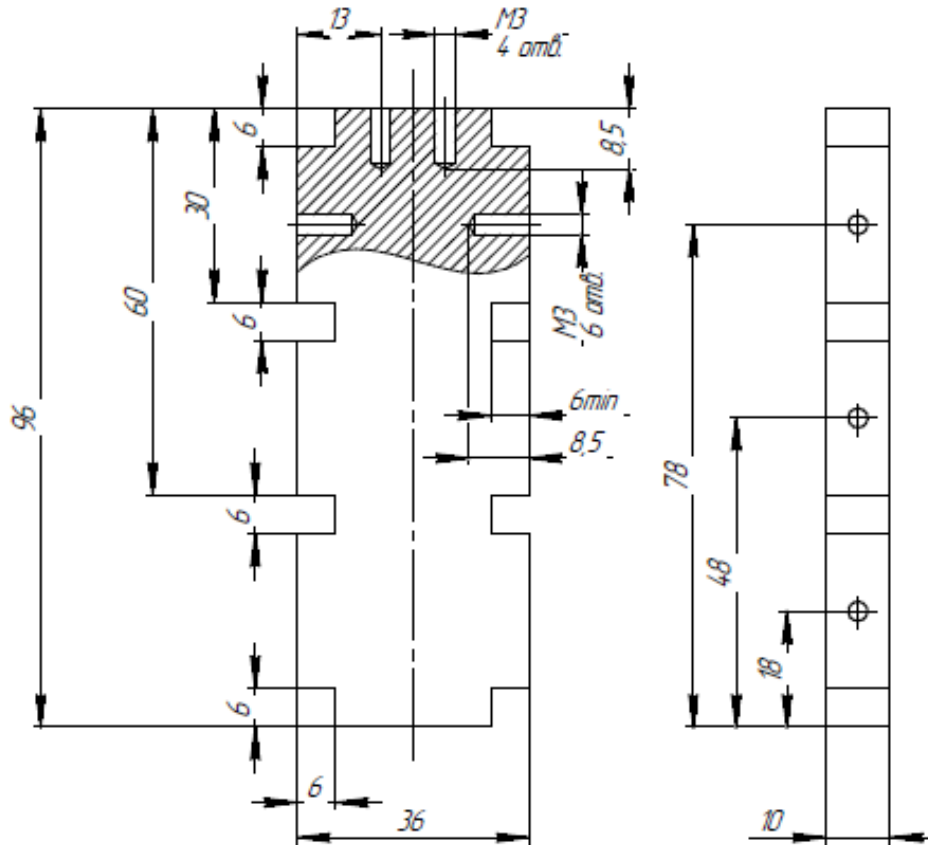
ЮУрГУ –120301.2018.255. ПЗ

Лист

99

12.03.01.2018.255.01.02

$\sqrt{Rz 20 (\sqrt{1})}$



1 Неуказанные предельные отклонения размеров H12, h12,  $\pm \frac{IT}{2}$   
 2 Острые кромки притупить

КОМПАС-3D V17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

Изм. №	Подп. и дата	Взам инв. №	Инд. №	Стр. №	Перв. примен.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Куликов А.А.		
Пров.		Лысова А.А.		
Т.контр.				
Н.контр.		Лысова А.А.		
Утв.				

12.03.01.2018.255.01.02

Гребенка

Лист Д16Т-10x1000x2000  
ГОСТ 21631-76

Лит.	Масса	Масштаб
	0,14	1:1
Лист	Листов 1	
ЮУрГУ кафедра ИНиТ		
Формат А4		

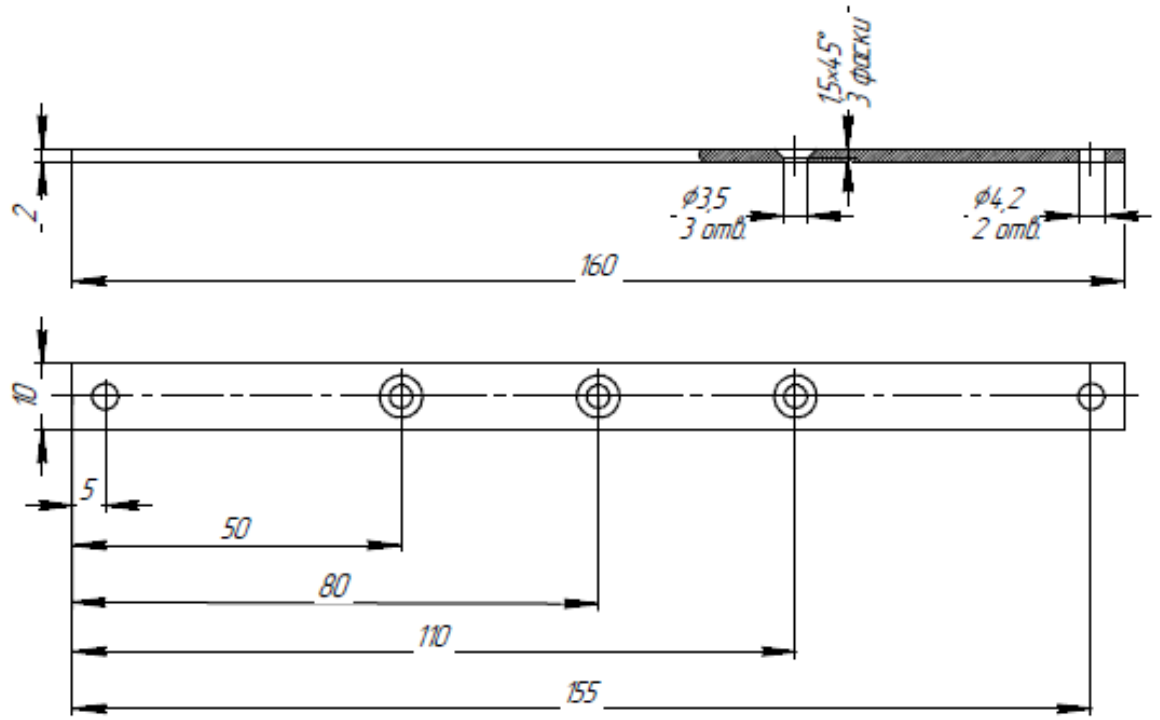
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ –120301.2018.255. ПЗ



12.03.01.2018.255.01.03

$\sqrt{Rz\ 20\ (\sqrt{1})}$



1 Неуказанные предельные отклонения размеров Н12, н12, ± $\frac{IT}{2}$   
 2 Острые кромки притупить

12.03.01.2018.255.01.03

КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСЮН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.  
 Взам инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Куликов А.А.		
Пров.		Лысова А.А.		
Т.контр.				
Н.контр.		Лысова А.А.		
Утв.				

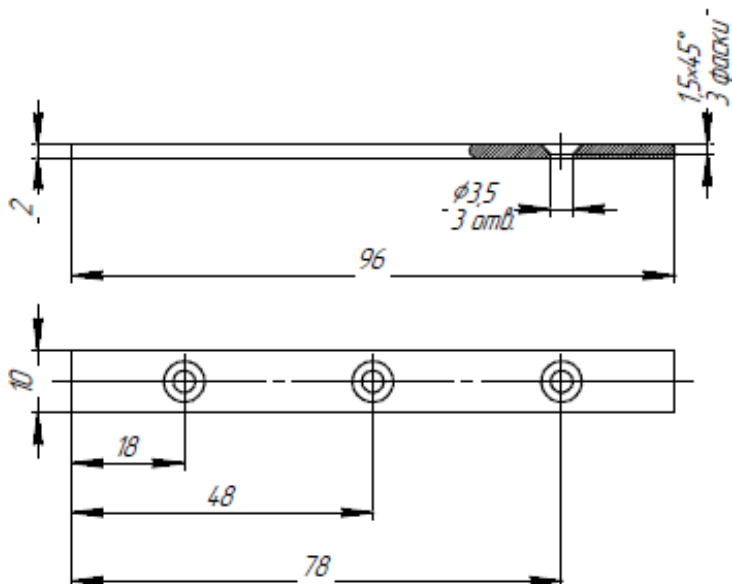
Планка прижимная			Лит.	Масса	Масштаб
				0,02	1:1
Лист Д16Т-10x1000x2000 ГОСТ 21631-76			Лист	Листов	1
			ЮУрГУ кафедра ИИиТ		

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЮУрГУ –120301.2018.255. ПЗ

12.03.01.2018.255.01.04

$\sqrt{Rz 20 (\sqrt{1})}$



- 1 Неуказанные предельные отклонения размеров Н12, н12, ±IT
- 2 Острые кромки притупить

12.03.01.2018.255.01.04

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Куликов А.А.		
Проб.		Лысова А.А.		
Т.контр.				
Н.контр.		Лысова А.А.		
Утв.				

**Планка прижимная**

Лист	Масса	Масштаб
	0,02	1:1
Лист		Листов 1

Лист Д16Т-10x1000x2000  
ГОСТ 21631-76

ЮУрГУ  
кафедра ИИиТ

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

Перв. примен.

Стр. №

Взам инв. №

Инд. № дроб.

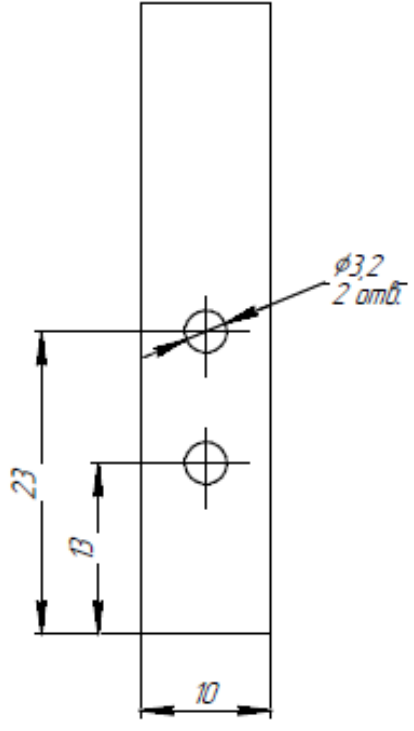
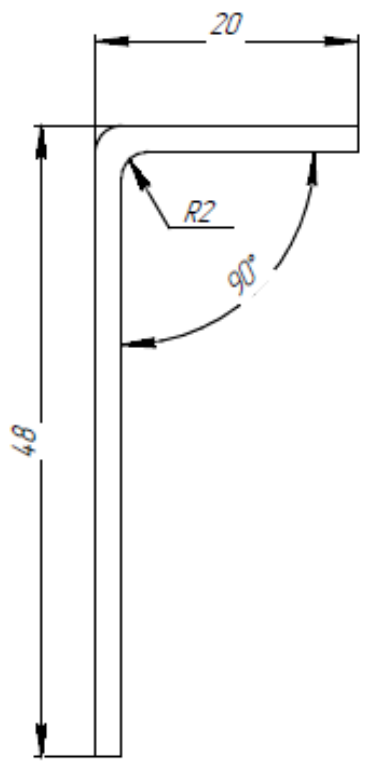
Подп. и дата

Инд. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

12.03.01.2018.255.01.05

$\sqrt{Rz\ 20}\ (\checkmark)$



1 Отверстия сквозные

2 Неуказанные предельные отклонения размеров Н12, н12,  $\pm \frac{IT12}{2}$

3 Острые края притупить

КОМПАС-3D v11 Учебная версия © 2017 ООО "АСОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.  
Контракт № 1711 Учебная версия © 2017 ООО "АСОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

№ док. / дата	№ док. / дата	№ док. / дата	№ док. / дата	№ док. / дата
Изм. / лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.	Куликов А.А.			
Проб.	Лысова А.А.			
Т.контр.				
Н.контр.	Лысова А.А.			
Утв.				

12.03.01.2018.255.01.05

Кронштейн

Лента Д16М 2x1200xP1  
ГОСТ 13726-97

Лит.	Масса	Масштаб
	0,01	2:1
Лист	Листов	1
ЮУрГУ кафедра ИИиТ		
Формат А4		

Не для компьютерной и цифровой печати

Копировать