

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам по дисциплине
для студентов очной формы обучения специальности
12.04.01 «Приборостроение»

Севастополь
СевГУ
2020

Рецензент:

А.Ю. Тараховский – к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения»

Составители: А.П. Васютенко, Н.А. Балакина,
М.М. Майстришин, В.П. Поливцев, В.В. Поливцев

А22 Автоматизированные измерительные системы: учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «» для студентов очной формы обучения специальности 12.03.01 «Приборостроение» / Сост. А.П. Васютенко, Н.А. Балакина, М.М. Майстришин, В.П. Поливцев, В.В. Поливцев Васютенко ; Министерство науки и высшего образования РФ, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Политехнический институт. – Севастополь: СевГУ, 2020. – 62 с. – Текст : электронный.

Учебно-методическое пособие предназначено для учебно-методического обеспечения дисциплины «Автоматизированные измерительные системы».

Целью учебно-методического пособия является оказание помощи студентам при выполнении лабораторных работ.

В качестве лабораторных стендов представлены узлы и блоки измерительных преобразователей фирмы «FESTO». Приведены пневматические схемы контрольно-сортировочного автомата, измерительных устройств, схемы пневмопривода транспортных и исполнительных механизмов автоматов, в которых используются управляющие и логические элементы. Приведены основные теоретические зависимости для расчета преобразователей и необходимые справочные данные.

УДК 65.3.05

Учебно-методическое пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов», протокол № 7 от 27 февраля 2020 г.

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия для студентов очной формы обучения специальности 12.04.01 «Приборостроение».

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1	
Разработка и исследование пневматических схем с одним исполнительным устройством, цилиндром одно- и двухстороннего действия.....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2	
Разработка пневматических схем с одним исполнительным устройством на базе логических функций «И», «ИЛИ»	17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3	
Исследование характеристик пневматического цилиндра двухстороннего действия с нагрузкой на штоке	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4	
Разработка и исследование пневматической схемы контрольно-сортировочного автомата	29
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5	
Разработка и исследование пневматической схемы с логическим элементом «И» устройства для измерения конусности деталей	36
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6	
Разработка и исследование пневматической схемы с логическим элементом «И» и реле задержки выключения для измерения конусности деталей.....	44
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7	
Разработка и исследование пневматической схемы автоматического измерительного устройства с логическим элементом «ИЛИ»	50
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8	
Разработка автоматизированного пневмопривода транспортных и исполнительных механизмов контрольно-сортировочного автомата	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	62

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных и сложных вопросов автоматизации технологических процессов является автоматизация контрольных операций. Автоматизация процесса измерения может осуществляться по линии технологического (активного) и послеоперационного методов контроля, которые отражают два принципиально различных направления развития технического контроля. Основным смыслом применения активного контроля деталей при их обработке на станках заключается в повышении технологической точности путем компенсации погрешностей, вызываемых износом инструмента, тепловыми и силовыми деформациями технологической системы. Послеоперационный контроль широко используется в условиях крупносерийного и массового производства и заключается в сортировке деталей на размерные группы для последующей организации селективной сборки.

В настоящее время большое распространение в машиностроении получили измерительные приборы, основанные на пневматическом принципе измерения. Высокая чувствительность и точность пневматических измерительных систем позволяет разрабатывать приборы, реагирующие на изменение размера изделия в пределах долей микрометра. Пневматический принцип действия удобен для бесконтактного измерения и дистанционной передачи результатов измерений. Мощный измерительный сигнал (давление) в большинстве случаев не требует дополнительного усиления, что упрощает конструкцию приборов. При помощи пневматических устройств просто осуществляются математические операции с запоминанием и записью результатов. В качестве положительных свойств пневматического принципа действия следует отметить также малую зависимость результатов измерений от вибрации металлорежущего оборудования и воздействия охлаждающей жидкости, высокую надежность, простоту и безопасность эксплуатации пневматических измерительных средств.

На рис. 1 представлен внешний вид стенда с элементами фирмы «FESTO».

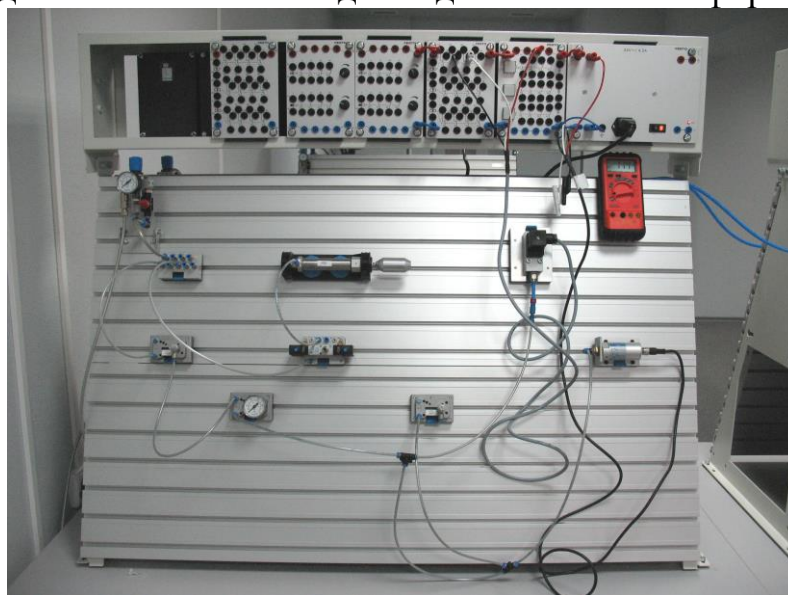


Рисунок 1 – Общий вид стенда

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СХЕМ С ОДНИМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ, ЦИЛИНДРОМ ОДНО- И ДВУХСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ

Цель работы: изучить принципиальную пневматическую схему с одним исполнительным устройством, цилиндром одно- и двухстороннего действия. По заданной схеме из пневматических элементов собрать лабораторный стенд и изучить работу приводов в действии.

1. Общие сведения

Для управления цилиндром одностороннего действия необходимо использовать 3/2 распределитель. В нашем случае объем полости цилиндра невелик и расход потребляемого им воздуха небольшой, поэтому распределитель может иметь ручное управление от кнопки с пружинным возвратом.

При нажатии на кнопку воздух проходит через управляющий распределитель 1S от канала питания 1(P) к выходному каналу 2(A) и, поступая в полость цилиндра 1A, заставляет его поршень двигаться, преодолевая усилие пружины (рис. 1.1, а). При отпускании кнопки возвратная пружина распределителя приводит его в исходное состояние, при котором полость цилиндра сообщается посредством канала 3(R) с атмосферой. Возвратная пружина цилиндра перемещает его шток в исходное положение. Так как в данной схеме исполнительный элемент представлен цилиндром, то он обозначается 1.A, а его управляющий распределитель – номером 1.S. На схеме блок подготовки воздуха и запорный вентиль системы питания сжатым воздухом не обозначены, а эти элементы на лабораторном стенде установлены постоянно.

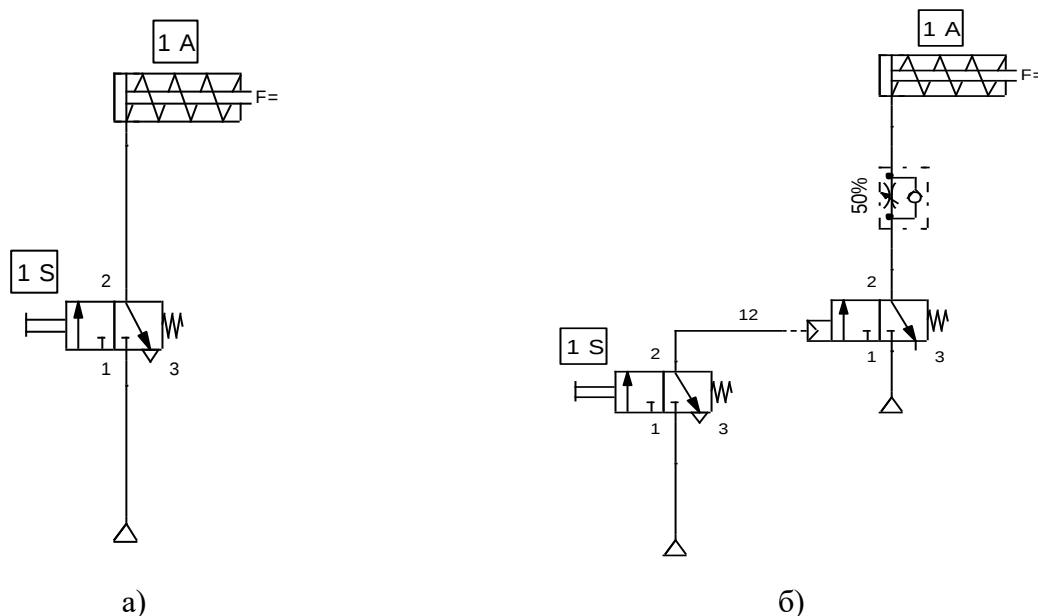


Рисунок 1.1 – Схема принципиальная управления цилиндром одностороннего действия с пружинным возвратом

Для управления цилиндрами большого диаметра или с большим потреблением сжатого воздуха применяют управляющие распределители с большим номинальным расходом. Сила, необходимая для переключения такого цилиндра вручную, может оказаться довольно большой. Поэтому в таких случаях использовать не прямое (пилотное) управление. При этом с помощью второго распределителя небольших размеров формируется сигнал, который, управляя потоком воздуха, создает силу, достаточную для переключения управляющего распределителя (усилителя мощности). Непрямое управление используется и в том случае, когда:

- шток цилиндра должен двигаться с высокой скоростью,
- оператор значительно удален от цилиндра.

Принципиальная схема такого управления представлена на рис. 1.1,б.

В исходном положении шток цилиндра $1A$ втянут, распределитель $1V$ под действием возвратной пружины находится в выключенном состоянии. Пилотный распределитель $1S$ с ручным управлением от кнопки под действием пружины также выключен и его выходной канал $2(A)$ соединен с атмосферой через канал $3(R)$. Питание сжатым воздухом подается к каналам $1(P)$ обоих элементов $1V$, $1S$. Работа схемы осуществляется следующим образом. Распределитель $3/2$ с ручным управлением от кнопки $1S$ при его срабатывании открывает проход воздуху от канала питания $1(P)$ к выходному каналу $2(A)$, где появляется пневматический сигнал, поступающий на вход 12 распределителя $1V$. Этим сигналом распределитель $1V$ переключается, преодолевая силу действия пружины, после чего канал питания $1(P)$ соединяется с выходным каналом $2(A)$, открывая проход воздуха в полость цилиндра. Поршень цилиндра $1A$ начинает двигаться, шток выдвигается. Пока сигнал на управляющем входе 12 распределителя $1V$ будет существовать, шток цилиндра будет оставаться в выдвинутом положении до тех пор, пока будет нажата кнопка распределителя $1S$. Это и есть не прямое управление цилиндром от кнопки. Если кнопку $1S$ отпустить, возвратная пружина переместит распределитель $1S$ в исходное положение, отсекая выходной канал $2(A)$ от питания и соединяя его с атмосферой $3(R)$. Это приведет к исчезновению сигнала управления на распределителе $1V$, который под действием пружины возвращается в исходное положение, соединяя полость цилиндра $1A$ с атмосферой. При этом пружина цилиндра $1A$ перемещает поршень со штоком в исходное положение.

В цилиндре одностороннего действия (рис. 1.2) сжатый воздух воздействует на поршень только с одной стороны. С другой стороны, полость цилиндра всегда соединена с атмосферой. Такой цилиндр может совершать работу только в одном направлении. Возврат поршня в исходное положение осуществляется под действием пружины. Сила упругости пружины подбирается таким образом, чтобы поршень без нагрузки возвращался в исходное положение с относительно большой скоростью, приблизительно равной скорости рабочего хода при отсутствии нагрузки на штоке.

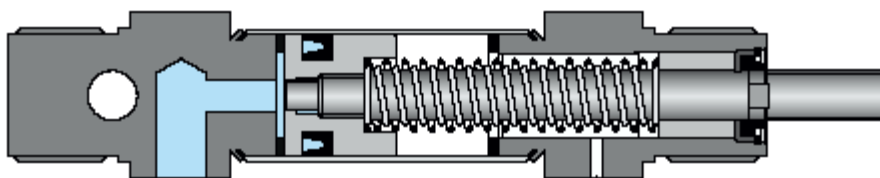


Рисунок 1.2 – Пневматический цилиндр одностороннего действия с пружинным возвратом

Усилие на штоке пневмоцилиндра можно определить из выражения:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} P - cX ,$$

где F – усилие на штоке цилиндра (Н); d – диаметр цилиндра (м); P – давление в полости цилиндра (Па); c – жесткость пружины (Н/м); X – перемещение поршня (ход) или величина сжатия пружины (м).

На рис. 1.3 представлен распределитель 3/2 с односторонним пневматическим управлением и пружинным возвратом. Нормально-закрытый в двух своих положениях выключено (рис. 1.3,а) и включено (рис. 1.3,б). Распределитель имеет управляющий поршень и возвратную пружину. В исходном положении распределитель нормально закрыт, так как канал питания 1 блокируется дисковым запорным элементом, а выходной канал 2 соединен посредством канала 3 с атмосферой. Распределитель переключается поступающим на его вход 12 давлением сжатого воздуха, прилагаемому к управляющему поршню. При этом канал 1 соединяется с каналом 2. После снятия давления в управляющем канале 12 распределитель возвращается под действием возвратной пружины в исходную позицию. Клапан разъединяет каналы 1 и 2. Выходной канал 2 соединяется через канал 3 с атмосферой.

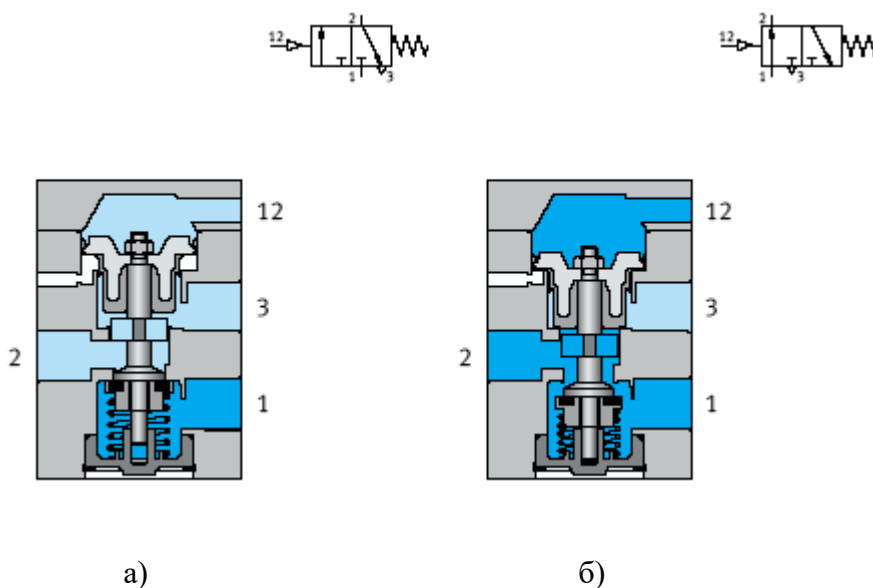


Рисунок 1.3 - Распределитель 3/2 с пневматическим односторонним управлением и пружинным возвратом

В исходном положении управляющий распределитель (рис. 1.4) переключен таким образом, что на штоковую сторону поршня цилиндра действует давление воздуха, и поршень со штоком находится во втянутом положении.

При нажатии на кнопку распределителя *1S1* на его выходе *2(A)* появится сигнал, который поступает на вход *14 5/2* – распределителя *1V1*. *5/2* – распределитель с двухсторонним управлением (памятью) переключается так, что поршневая полость цилиндра *1A* посредством канала *4(A)* соединяется с линией питания *1(P)* и шток поршня выдвигается. Если подача воздуха в полость цилиндра осуществляется через дроссель с обратным клапаном *1V2* (обратный клапан открыт) без сопротивления, то вытесняемый из штоковой полости воздух через дроссель с обратным клапаном *1V3* (обратный клапан закрыт), дросселируется (с сопротивлением). При этом скорость выдвижения штока цилиндра регулируется. Если кнопку распределителя *1S1* отпустить, то положение распределителя *1V1* останется неизменным, так как он обладает свойством запоминания. Если нажать кнопку распределителя *1S2*, то в канале управления *12* распределителя *1V1* появится сигнал. Распределитель переключится, воздух поступит в штоковую полость цилиндра *1A* и шток поршня втягивается. Дросселирование сброса воздуха из безштоковой полости цилиндра осуществляется дросселем с обратным клапаном *1V2* (обратный клапан закрыт). При отпускании кнопки распределителя *1S2* положение распределителя *1V1* останется неизменным благодаря свойству памяти.

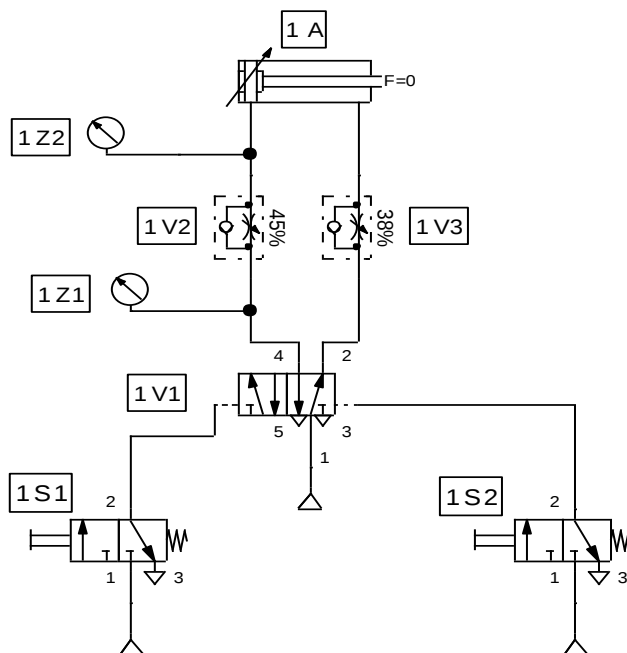


Рисунок 1.4 – Принципиальная схема управления цилиндром двухстороннего действия с дроссельным регулированием скорости на выходе

Обратные клапана «дросселей с обратными клапанами» *1V1*, *1V2* обеспечивают прохождение воздуха в одном направлении и запирают в другом. При

запирании воздух проходит только через дроссель, в обратном направлении через клапан и дроссель. Дроссель регулирует объемный расход, подаваемый в полость цилиндра, и тем самым регулирует скорость движения поршня со штоком. Существуют три схемы дроссельного регулирования скорости исполнительного органа цилиндра: установка дросселя на входе в двигатель, установка дросселя на выходе двигателя и установка дросселя параллельно двигателю. Последняя схема применяется редко из-за низкого КПД. В схеме, представленной на рис. 1.4, применена схема установки дросселя на выходе цилиндра. Различные по объему расходы воздуха, вытесненной из поршневой и штоковой полостей цилиндра, должны регулироваться независимо друг от друга для того чтобы, таким образом настраивать скорости выдвижения и втягивания штока.

Массу воздуха (кг) потребляемую цилиндром за время движения штока можно рассчитать по формуле:

$$M = S_y L \rho_1, \quad (1)$$

где S_y - площадь поршня безштоковой полости цилиндра $S_y = \pi d^2/4$ (м²); ρ_1 - плотность воздуха при давлении P_1 (кг/м³); $\rho_1 = \frac{\rho_a P_1}{P_a}$, $\rho_a = 1,29$ кг/м³ - плотность воздуха при атмосферном давлении P_a ; L - ход штока цилиндра (м).

В формуле (1) принято допущение, что давление в полости цилиндра незначительно отличается от давления P_1 на входе в цилиндр.

Мгновенный массовый расход воздуха (кг/с) поступающий в цилиндр во время движения определяем из выражения:

$$G_y = M/t, \quad (2)$$

t - время (с), за которое шток выдвигается на длину L (м).

Если известно давление P_m перед дросселем и давление P_1 после дросселя расход через дроссель при адиабатическом процессе для докритического и надкритического истечения можно определить по упрощенным зависимостям: если $P_1/P_m \geq 0.5$

$$G_{dp} = \mu_{dp} S_{dp} P_m \sqrt{\frac{2}{RT} \left[\frac{P_1}{P_m} \left(1 - \frac{P_1}{P_m} \right) \right]}, \quad (3)$$

если $P_1/P_m \leq 0.5$

$$G_{dp} = \mu_{dp} S_{dp} P_m \sqrt{\frac{1}{2RT}},$$

где μ_{dp} - коэффициент расхода $\mu_{dp} = \frac{1}{\sqrt{1+\xi}}$, $\xi = 0,4$ - коэффициент сопро-

тивления на входе дросселя; S_{op} – площадь проходного отверстия дросселя (м^2); P_M и P_1 – давление перед дросселем и после дросселя (Па); R – универсальная газовая постоянная и для воздуха $R = 287,14 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{К)}$; T – температура воздуха (в кельвинах) $T = 293 \text{ К}$.

На основании предположении о неразрывности среды можно записать:

$$G_y = G_{op}. \quad (4)$$

Подставляя в выражение (3) зависимость (4) и преобразовав уравнение относительно S_{op} получаем:

для $P_1 / P_M \geq 0.5$

$$S_{op} = \frac{\pi d^2 L \rho_a P_1}{4 t P_a \mu_{op} P_M \sqrt{\frac{2}{RT} \left[\frac{P_1}{P_M} \left(1 - \frac{p_1}{p_M} \right) \right]}}, \quad (5)$$

для $P_1 / P_M \leq 0.5$

$$S_{op} = \frac{\pi d^2 L \rho_a P_1}{4 t P_a \mu_{op} P_M \sqrt{\frac{2}{RT}}}.$$

Выражение (5) позволяет определить настроечную характеристику регулируемого дросселя в зависимости от числа оборотов рукоятки.

Конструкция цилиндра двухстороннего действия без демпфирования и с демпфированием в конце хода представлена на рис. 1.5.

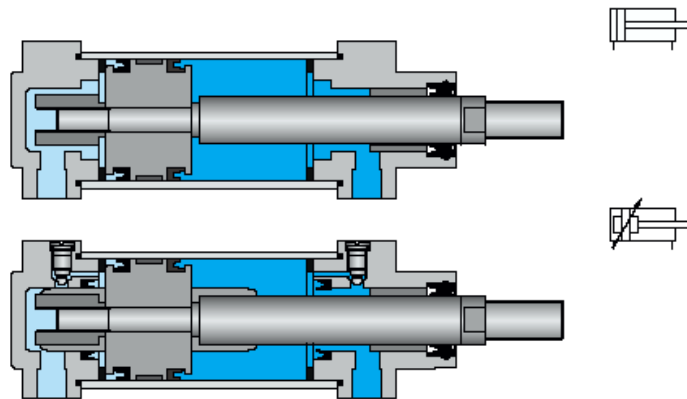


Рисунок 1.5 - Цилиндр двухстороннего действия без демпфирования (верхний) и с демпфированием в конечных положениях (нижний).

В целом конструкция аналогична цилиндру одностороннего действия. Но здесь уже нет пружины, так как теперь два присоединительных отверстия используются для подвода воздуха к рабочим полостям цилиндра и его отвод. Цилиндр двухстороннего действия позволяет совершать работу в двух направ-

лениях. При прямом ходе, шток цилиндра выдвигается с несколько большим усилием, чем при обратном, за счет разности площадей поршня на поперечное сечение штока. Чтобы избежать сильных ударов в конце хода о крышки цилиндра и поломки цилиндра, применяют демпфирование.

На некотором расстоянии до конца хода демпфирующий поршень перекрывает отверстие, по которому воздух свободно выходит из полости цилиндра. Воздух вытекает через регулируемое с помощью винта отверстие, которое может быть значительно меньше основного.

При этом увеличивается сопротивление выходящему потоку воздуха и повышается давление перед поршнем. На последней (тормозной) части хода поршня его скорость значительно снижается.

На рис. 1.6 представлен 5/2 распределитель, который имеет пять каналов подвода/отвода воздуха и два положения переключения. Он используется в основном как управляющий элемент для управления пневмоцилиндрами двухстороннего действия.

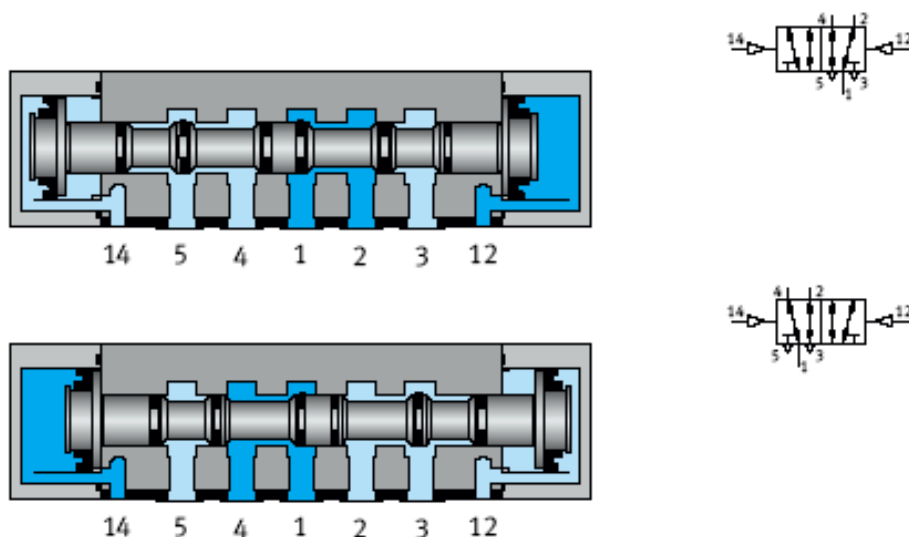


Рисунок 1.6 - Распределитель 5/2 с двухсторонним пневматическим управлением

На рис. 1.6 представлен распределитель с цилиндрическим золотником в качестве подвижного запорного элемента. В отличие от распределителей с шариковыми и тарельчатыми запорными элементами, коммутация и перекрытие соответствующих каналов происходит при осевом смещении золотника. Управляющие усилие в них, действует на торец золотника сжатым воздухом или пружиной, невелико из-за небольших сил сопротивления. Для управления могут применяться все виды управления – ручное, механическое, электрическое или как в данной схеме пневматическое. В распределителе канал 1 служит для подвода рабочего давления, каналы 2, 4 для управления, например полостями

цилиндра, каналы 3, 5 для сброса сжатого воздуха в атмосферу, а каналы 12, 14 для управления переключения золотника. На верхнем рис. 1.6 показано положение золотника и соединение каналов при подаче управляющего сигнала по каналу 12, а на нижнем показано положение золотника и соединение каналов при подаче управляющего сигнала по каналу 14.

На рис. 1.7 представлен регулируемый дроссель с обратным клапаном.

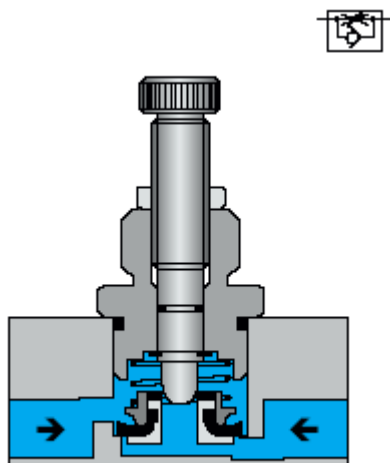


Рисунок 1.7 - Регулируемый дроссель с обратным клапаном

Дроссель предназначен для управления расходом сжатого воздуха. Обратный клапан закрывает поток воздуха в одном направлении в этом случае весь поток воздуха проходит через дроссель и открывает в обратном в этом случае поток воздуха идет и через обратный клапан, и через дроссель.

Дроссели применяют для регулирования скорости поршня со штоком пневматических цилиндров. Они должны устанавливаться в непосредственной близости от цилиндра.

Существуют три вида установки дросселя:

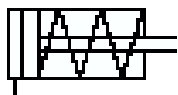
- на напорной линии (последовательно на входе),
- на линии выхлопа (последовательно на выходе),
- параллельно двигателю.

На практике применяют первые две схемы.

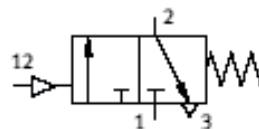
Дроссель имеет расходную характеристику – зависимость объемного или массового расхода от оборотов рукоятки. $Q_{др}, G_{др} = f(n)$ и настроечную – зависимость площади проходного сечения от оборотов рукоятки $S_{др} = f(n)$.

Настроечная характеристика зависит от формы запорных элементов (цилиндр – конус, конус – конус и т д).

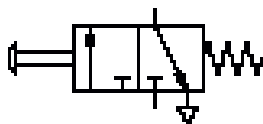
На рис. 1.8 приведены условные обозначения элементов.



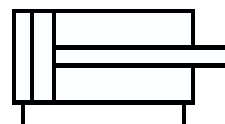
Цилиндр одностороннего действия
с пружинным возвратом



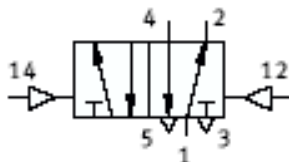
Распределитель 3/2 с односторонним
пневматическим управлением и пружинным
возвратом, нормально-закрытым



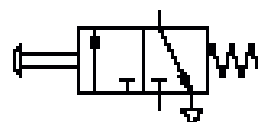
Распределитель 3/2 с односторонним ручным
управлением и пружинным возвратом,
нормально-закрытый



Цилиндр двухстороннего действия



Распределитель 5/2 с двухсторонним
пневматическим управлением



Распределитель 3/2 с односторонним ручным
управлением и пружинным возвратом,
нормально-закрытый

Рисунок 1.8 – Условные обозначения элементов

2. Содержание работы

1. Ознакомится с условными обозначениями пневмоэлементов.
2. Ознакомится с элементной базой лабораторного стенда.
3. Ознакомится с пневматическими принципиальными схемами: управления работой цилиндра одно- и двухстороннего действия.
4. Собрать стенд управления цилиндром одностороннего действия.
5. Снять экспериментальные данные скорости привода и сделать необходимые расчеты.
6. Оформить отчет по проделанной работе.

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с условными обозначениями и элементной базой лабораторных стендов.
2. Из набора пневмоэлементов по схеме рис. 1.1,а собрать лабораторный стенд на универсальной доске и подключить его через раздаточный элемент к блоку подготовки сжатого воздуха. Блок подготовки сжатого воздуха и раздаточный элемент установлен на универсальной доске стационарно.

3. На блоке подготовки воздуха открыть вентиль и подать сжатый воздух на лабораторный стенд. Нажать на кнопку *1S* и убедиться, что шток цилиндра *1A* выдвигается, а при ее отпускании возвращается в исходное положение. Закрывать вентиль.

4. Собрать лабораторный стенд по схеме рис. 1.1,б на универсальной доске и подключить его через раздаточный элемент к блоку подготовки сжатого воздуха.

5. На блоке подготовки воздуха открыть вентиль и подать сжатый воздух на лабораторный стенд. Нажать на кнопку *1S* и убедиться, что шток цилиндра *1A* выдвигается, а при ее отпускании возвращается в исходное положение.

6. Установить на манометре блока подготовки воздуха 2,5 бар. Нажать на кнопку *1S* и измерить время выдвижения штока цилиндра и записать в табл. 1.1. Повторить измерение пять раз.

7. Установить на манометре давление 3, 3,5 и 4,0 бара и повторить пункт 6, время записать в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Зависимость времени выдвижения штока цилиндра от давления P , бар

P (бар)	t_1 (с)	t_2 (с)	t_3 (с)	t_4 (с)	t_5 (с)	T_{cp} (с)	F (Н)
2,5							
3,0							
3,5							
4,0							

8. Из набора пневмоэлементов по схеме рис. 1.4 собрать лабораторный стенд на универсальной доске и подключить его через раздаточный элемент к блоку подготовки сжатого воздуха. Блок подготовки сжатого воздуха и раздаточный элемент установлен на универсальной доске стационарно.

9. На блоке подготовки воздуха открыть вентиль и подать сжатый воздух на лабораторный стенд. Нажать на кнопку *1S1* и убедиться, что шток цилиндра *1A* выдвигается, а при ее отпускании не возвращается в исходное положение.

10. Нажать на кнопку *1S2* и убедиться, что шток цилиндра *1A* втягивается, а при ее отпускании остается в исходном положении.

11. Установить на редукционном клапане давление 3,0 бара, дроссель *1V2* открыть полностью, а дроссель *1V3* закрыть полностью. Дроссель *1V3* открыть на один оборот, нажать кнопку *1S1*, измерить время выдвижения штока цилиндра и давления P_m (манометр *1Z1*) на входе дросселя, P_1 (манометр *1Z2*) после дросселя данные записать в табл. 1.2. Кнопку отпустить. Измерения времени снять пять раз.

12. Нажать кнопку *1S2* вернуть шток цилиндра в исходное состояние.

13. Повернуть рукоятку дросселя *1V3* еще на один (2, 3, 4, 5, 6) оборота, нажать кнопку *1S1*, измерить время выдвижения штока цилиндра данные записать в табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты измерения

Положение дросселя	t_1 (с)	t_2 (с)	t_3 (с)	t_4 (с)	T_5 (с)	T_{cp} (с)	P_m (бар)	P_1 (бар)
1 обор.								
2 обор.								
3 обор.								
4 обор.								
5 обор.								
6 обор.								

14. Дроссель 1V3 открыть полностью, а дроссель 1V2 закрыть полностью. Дроссель 1V2 открыть на один оборот, нажать кнопку 1S2, измерить время втягивания штока цилиндра данные записать в табл. 1.3 аналогичную табл. 1.2. Кнопку отпустить. Измерения снять пять раз.

15. Нажать кнопку 1S1 вернуть шток цилиндра в состояние выдвинуто.

16. Повернуть рукоятку дросселя 1V2 еще на один (2, 3, 4, 5, 6) оборота, нажать кнопку 1S2, измерить время втягивания штока цилиндра данные записать в табл. 1.3.

17. Разобрать лабораторный стенд, а пневмоэлементы уложить на свои места по указателям.

18. Представить графические зависимости скорости штока цилиндра от подаваемого в него давления $V = f(P)$ и усилия на штоке от давления $F = f(P)$.

19. Диаметр цилиндра $d = 20$ мм, ход поршня $h = 50$ мм, диаметр штока $d_1 = 8$ мм, жесткость пружины $c = 0,2$ Н/мм.

20. Построить графическую зависимость скорости штока цилиндра от числа оборотов рукоятки дросселя $V = f(n)$.

21. Построить настроечную $S_{др} = f(n)$ и расходную $G_{др} = f(n)$ характеристики дросселя.

4. Содержание отчета

1. Титульный лист, наименование и цель работы.

2. Привести схему принципиальную пневматическими управления: управления работой цилиндра одно- и двухстороннего действия.

3. Привести схему принципиальную управлением цилиндром двухстороннего действия с дроссельным регулированием скорости на выходе.

4. Представить таблицу экспериментальных данных скорости привода и проведенные расчеты.

5. Представить графические зависимости скорости штока цилиндра от подаваемого в него давления $V = f(P)$ и усилия на штоке от давления $F = f(P)$.

6. Представить графическую зависимость скорости штока цилиндра от числа оборотов рукоятки дросселя $V = f(n)$.

7. Представить настроечную $S_{др} = f(n)$ и расходную $G_{др} = f(n)$ характеристики дросселя.

8. Вывод.

5. Контрольные вопросы

1. Как ведет себя шток цилиндра, если нажать на кнопку, а затем отпустить ее?

2. Опишите принцип работы системы, используя ее принципиальную схему?

3. Укажите на принципиальной схеме, как обозначается пневмоцилиндр, распределитель, пневмокнопка и дайте их характеристики по условным обозначениям?

4. Почему в схемах управлением цилиндром используют схему с двумя распределителями?

5. Как зависит скорость перемещения и усилие на штоке от подаваемого в него давления?

6. Почему в схеме управлением цилиндром используют распределитель 5/2?

7. Как зависит скорость перемещения штока от площади проходного сечения дросселя?

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ НА БАЗЕ ЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ «И», «ИЛИ»

Цель работы: изучить принципиальную пневматическую схему с одним исполнительным устройством с логическими элементами «И», «ИЛИ». По заданной схеме из пневматических элементов собрать лабораторный стенд и изучить работу приводов в действии.

1. Общие сведения

С помощью пневматического перекидного клапана и клапана двух давлений можно реализовать логические функции. Оба элемента имеют два входа и один выход. Выход перекидного элемента («ИЛИ»-элемента) включается в том случае, если имеется один из входных сигналов (X,Y) на его входах или оба сигнала. Выход клапана двух давлений («И»-элемента) включается в том случае, если имеются входные сигналы на обоих входах (X,Y). Логически элементы в пневматической системе выполняют, роль управляющих элементов.

Выходы обоих 3/2 распределителей $1S1$, $1S2$ (рис. 2.1) с управлением от кнопки подсоединены к входам $X(1)$, $Y(1(1))$ перекидного клапана $1V1$ (клапана - «ИЛИ»).

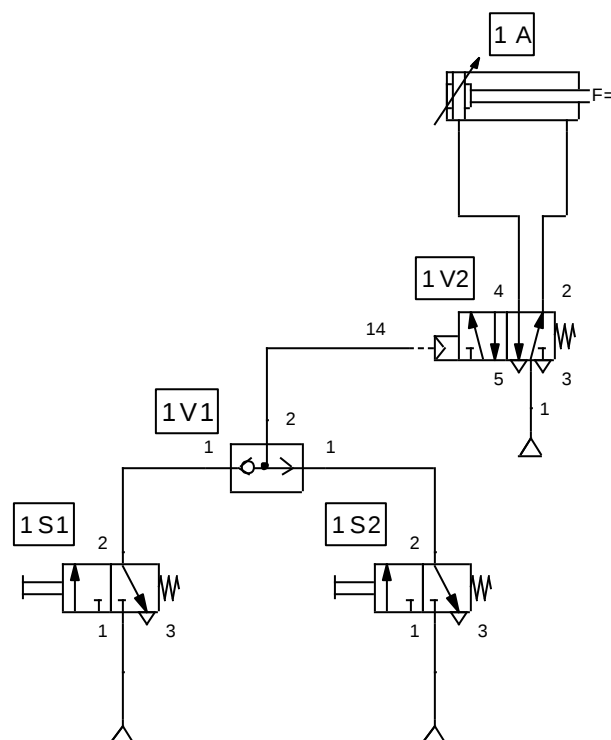


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема управления цилиндром с помощью логического элемента «ИЛИ»

При нажатии одной из кнопок или обеих кнопок одновременно на вход 1 или 1(1) клапана «ИЛИ» поступает сигнал. Условие «ИЛИ» является выполненным, и поэтому на выходе 2 клапана «ИЛИ» (1V1) появится сигнал. Снятие сигнала давления через канал выхлопа 3/2 - распределителя, не находящегося под действием сигнала управления, предотвращает запираение трубопроводов перекидного клапана 1V1. Далее сигнал поступает на вход 14 управляющего распределителя 1V2, что вызывает его переключение.

Воздух под давлением поступает в поршневую полость цилиндра 1A, и шток цилиндра выдвигается.

Если же отпустить одну из кнопок или обе кнопки, то сигнал на выходах 1, 1(1) исчезнет и перекидной клапан 1V1 соединит вход управления 14 с атмосферой через выхлопное отверстие одного из распределителей 3/2 1S1, 1S2. Возвратная пружина переключит распределитель 1V2 в исходное положение, при котором сжатый воздух по каналу 2 подается в штоковую полость цилиндра 1A, а из поршневой полости через канал 4 сбрасывается в атмосферу. Шток цилиндра втягивается.

Выходы X(1) и Y(1(1)) клапана двух давлений 1V1 (рис. 2.2) соединены с выходными каналами 2 распределителей 1S1, 1S2. Распределители 3/2 – 1S1, 1S2 создают сигнал 1(1) на входах клапана двух давлений 1V1. Если нажать кнопку 1S1 в начальный момент только на одном входе имеется сигнал управления, то логическое «И» условие не является выполненным и на выходе 2 клапана двух давлений (1V1) сигнал отсутствует. Теперь если нажать кнопку распределителя 1S2, то на второй вход 1 клапана двух давлений 1V1 поступит сигнал, выполнится логическое «И» – условие и появится сигнал на выходе 2 клапана 1V1.

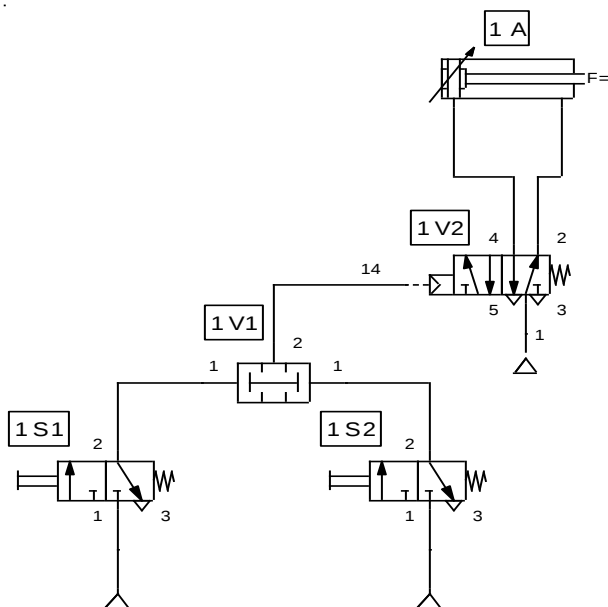


Рисунок 2.2 - Принципиальная схема управления цилиндром с помощью логического элемента «И»

Распределитель 5/2 с пневматическим управлением 1V2 переключится, сжатый воздух поступит в поршневую полость цилиндра 1A и шток выдвинется.

Если один из двух распределителей 1S1 или 1S2 выключается, то в этом случае «И» – логическое условие не выполняется и на выходе 2 клапана 1V1 сигнал снимается. Канал управления 14 распределителя 1V1 соединяется через выключившийся распределители 1S1 или 1S2 с атмосферой. Управляющий распределитель 1V2 переключается в исходное состояние. Давление питания поступает в штоковую полость цилиндра 1A, обеспечивая втягивание штока.

В качестве элементов, осуществляющих логические операции, рассмотрим два типа элементов имеющих один выходной и два входных канала.

На рис. 2.3 представлен логический элемент «ИЛИ» в двух состояниях в зависимости от подачи сигналов на его входы. Если сжатый воздух подается на вход 1, то подвижный элемент прикрывает вход 1(3), позволяя воздуху проходить на выход 2. При подаче сигнала по каналу 1(3) сжатый воздух запирает канал 1 и проходит в канал 2. При подаче сжатого воздуха по обоим каналам запорный элемент будет находиться в среднем положении и сжатый воздух поступает на выходной канал 2. При обратном течении сжатого воздуха, то есть когда, воздух, например, из полости цилиндра выпускается в атмосферу, подвижный элемент остается в положении последнего переключения. Если в схемах требуется два и более, выходных логических сигналов управления, то следует установить несколько элементов «ИЛИ».

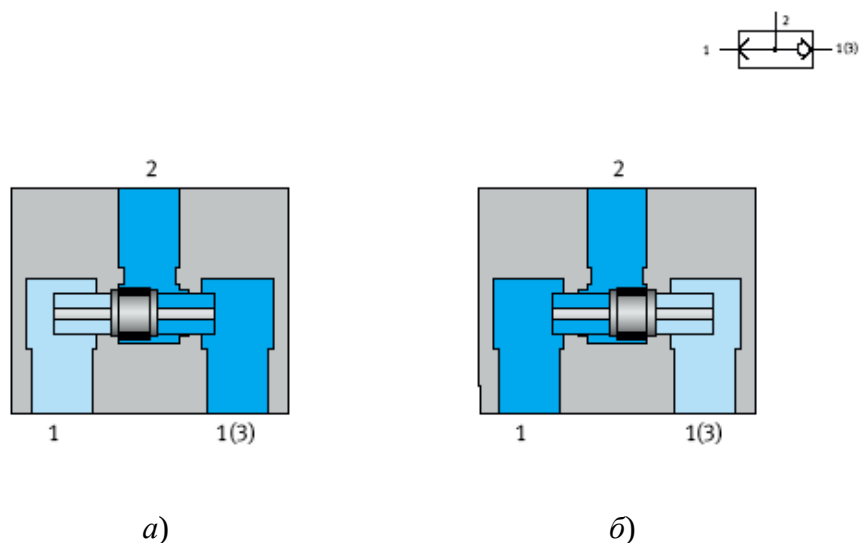


Рисунок 2.3 – Схема логического элемента «ИЛИ»

На рис. 2.4 представлен логический элемент «И». Этот элемент имеет два входных канала 1, 1(3) и один выходной 2. Сжатый воздух проходит через элемент на выходе канала 2, в случае подачи сигнала на оба его входа 1 и 1(3) схема а), при этом запорный элемент находится в среднем положении и пропускает последний из поданных сигналов от каналов 1 и 1(3). При подаче одного входного сигнала, например сигнала по каналу 1 (рис. 2.4,б) проход воздуха на

выход канала 2 блокируется прижатием подвижного элемента к седлу клапана. Аналогично и при подаче одного сигнала 1(3).

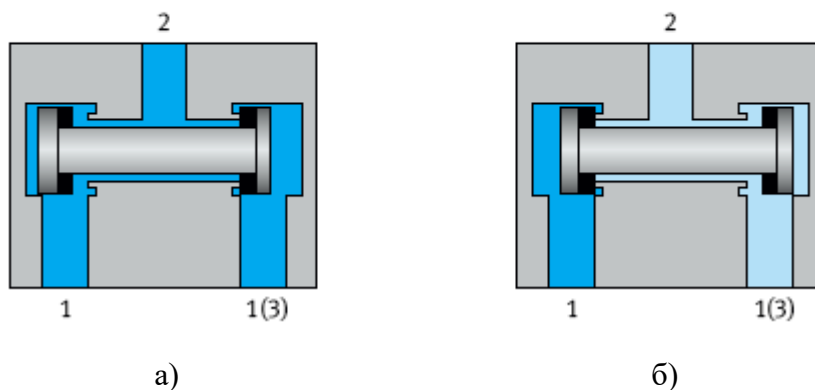
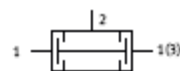
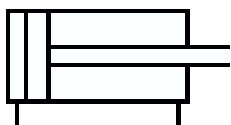


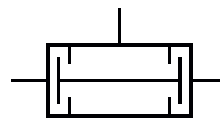
Рисунок 2.4 – Схема логического элемента «ИЛИ»

Для получения сигнала о том, что шток достиг крайнего выдвинутого положения, следует использовать концевой выключатель с управлением от роликового толкателя.

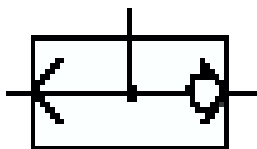
Одна из кнопок должна быть нажата на короткий промежуток времени для того, чтобы шток цилиндра выдвинулся. Так как действие сигнала на вход 14(z) 5/2- распределителя с двухсторонним пневматическим управлением будет продолжаться до тех пор, пока на вход 12(y) не поступит сигнал. Как только шток поршня достигнет переднего крайнего положения, концевой выключатель 1.3 с управлением от роликового рычага включится и подаст сигнал на вход 12(y) распределителя 1.1, который переключится. Шток втянется. Втянутое положение штока также может опрашиваться. Для этого необходим второй концевой выключатель (на схеме рис. 2.5 не предусмотрен).



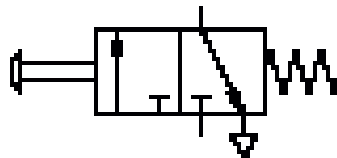
Цилиндр двухстороннего действия



Клапан двух давлений логический элемент «И»



Перекидной клапан логический элемент «ИЛИ»



Распределитель 3/2 с ручным односторонним управлением и пружинным возвратом

Рисунок 2.6 – Условные обозначения пневмоэлементов

2. Содержание работы

1. Ознакомится с условными обозначениями пневмоэлементов.
2. Ознакомится с элементной базой лабораторного стенда.
3. Ознакомится с пневматическими принципиальными схемами: управления работой цилиндра двух - стороннего действия на базе логических элементов «И», «ИЛИ».
4. Собрать стенд управления цилиндром двух - стороннего действия с логическими элементами «И», «ИЛИ».
5. Убедится, что шток цилиндра отрабатывает заданную таблицу состояний для каждого элемента.
6. Оформить отчет по проделанной работе.

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с условными обозначениями и элементной базой лабораторных стендов.
2. Из набора пневмоэлементов по схеме рис. 2.1 собрать лабораторный стенд на универсальной доске и подключить его через раздаточный элемент к блоку подготовки сжатого воздуха. Блок подготовки сжатого воздуха и раздаточный элемент установлен на универсальной доске стационарно.
3. На блоке подготовки воздуха открыть вентиль и подать сжатый воздух на лабораторный стенд. Нажать сначала на кнопку *1S1*, отпустить кнопку, затем на кнопку *1S2*, на обе кнопки вместе результаты записать в таблицу состояний 2.1.

Таблица 2.1 – Таблица состояний

	1	2	3	4
$X(1), 1S1$				
$Y(1(1)), 1S2$				
$2(14)$				

4. Нажать сначала на кнопку *1S1*, отпустить кнопку, затем на кнопку *1S2*, на обе кнопки вместе результаты записать в таблицу состояний 2.2.

Таблица 2.2 – Таблица состояний

	1	2	3	4
$X(1), 1S1$				
$Y(1(1)), 1S2$				
$2(14)$				

5. Выполнить один из вариантов заданий 1...4.

6. Разобрать лабораторный стенд, а пневмоэлементы уложить на свои места по указателям.

Вариант 1

Постановка задачи

Шток цилиндра двухстороннего действия должен выдвигаться при кратковременном нажатии одной или одновременно двух кнопок. При отпускании обеих кнопок и достижении крайнего положения шток цилиндра должен занимать исходное положение. Для управления цилиндром должен использоваться распределитель с двухсторонним пневматическим управлением, обладающий свойством запоминания сигнала. Кроме того, для получения сигнала о том, что шток достиг крайнего положения, следует использовать концевой выключатель с управлением от роликового толкателя.

Спроектировать пневматическую принципиальную схему, из стандартных условных обозначений, промоделировать схему с помощью программного продукта «Fluil SIM Pneumatic». Собрать на стенде лабораторную установку и проверить ее работу.

Вариант 2

Постановка задачи

Шток поршня цилиндра должен выдвигаться только в том случае, если деталь установлена на рабочий стол станка (концевой выключатель наличия детали), защитная сетка опущена (концевой выключатель наличия сетки в опущенном состоянии) и оператором нажата кнопка. После отпускания кнопки или смещения защитной сетки вверх шток цилиндра возвращается в исходное состояние.

Спроектировать пневматическую принципиальную схему, из стандартных условных обозначений, промоделировать схему с помощью программного продукта «Fluil SIM Pneumatic». Собрать на стенде лабораторную установку и проверить ее работу.

Вариант 3

Постановка задачи

Шток цилиндра двухстороннего действия должен выдвигаться при кратковременном нажатии одной или одновременно двух кнопок. Для управления цилиндром должен использоваться распределитель с двухсторонним пневматическим управлением, обладающий свойством запоминания сигнала. Кроме того, для получения сигнала о том, что шток достиг крайнего положения, следует использовать концевой выключатель с управлением от роликового толкателя. Втянутое положение штока также должно опрашиваться концевым выключателем.

При постоянном нажатии одной или двух кнопок привод работает в автоматическом режиме (шток выдвигается и возвращается и т.д.).

Спроектировать пневматическую принципиальную схему, из стандартных условных обозначений, промоделировать схему с помощью программного про-

дукта «Fluил SIM Pneumatic». Собрать на стенде лабораторную установку и проверить ее работу.

Вариант 4

Постановка задачи

Шток цилиндра двухстороннего действия должен выдвигаться при нажатии одной или одновременно двух кнопок. При отпускании обеих кнопок шток цилиндра должен занимать исходное положение. Для управления цилиндром должен использоваться распределитель с двухсторонним пневматическим управлением, обладающий свойством запоминания сигнала. Кроме того, для получения сигнала о том, что шток достиг крайнего положения, следует использовать концевой выключатель с управлением от роликового толкателя. Втянутое положение штока также должно опрашиваться концевым выключателем.

При кратковременном нажатии одной или двух кнопок шток цилиндра выдвигается и возвращается в исходное положение. Повторение цикла происходит при повторном нажатии.

При удержании одной или двух кнопок шток цилиндра выдвигается и вернется в исходное положение после отпускания одной или двух удерживаемых кнопок.

Спроектировать пневматическую принципиальную схему, из стандартных условных обозначений, промоделировать схему с помощью программного продукта «Fluил SIM Pneumatic». Собрать на стенде лабораторную установку и проверить ее работу.

4. Содержание отчета

1. Титульный лист, наименование и цель работы.
2. Привести пневматические принципиальные схемы управления работой цилиндра двух - стороннего действия на базе логических элементов «И», «ИЛИ».
3. Представить таблицу состояний для каждого элемента.
4. Вывод.

5. Контрольные вопросы

1. Что такое логическая операция «ИЛИ», объяснить ее таблицу состояний пневматических сигналов?
2. Что такое логическая операция «И», объяснить ее таблицу состояний пневматических сигналов?
3. Почему в схеме используется 5/2 - распределитель 1V2?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА ДВУХСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ С НАГРУЗКОЙ НА ШТОКЕ

Цель работы: изучить принципиальную пневматическую схему с цилиндром двухстороннего действия с нагрузкой на штоке. По заданной схеме из пневматических элементов собрать лабораторный стенд и изучить работу приводов в действии.

1. Общие сведения

Из-за сжимаемости воздуха движение пневматического поршневого привода может быть описано системой нелинейных дифференциальных уравнений, решаемых численными методами. Однако, если необходимо определить скорость установившегося движения поршня цилиндра двухстороннего действия с постоянной нагрузкой можно применить упрощенные методы решения с достаточной степенью точности определения скорости.

В данной работе рассматривается поршневой привод, в котором:

$$\dot{y} = \text{const}, \ddot{y} = 0, F_H = F_{\Pi} + F_T, \frac{dP_1}{dt} = 0, \frac{dP_2}{dt} = 0,$$

где $\dot{y}$ – скорость перемещения поршня со штоком, (м/с); $\ddot{y}$ – ускорение поршня со штоком (м/с²); F_H – постоянная нагрузка на штоке, (Н); P_1, P_2 – абсолютные давления (атм. + изб.) в штоковой и безштоковой полостях цилиндра в (Па), F_T – сила трения.

Запишем уравнения описывающие такой привод:

$$\begin{aligned} P_1 S_1 - P_2 S_2 &= F_H; \\ \frac{RT}{S_1} G_1 &= P_1 \frac{dy}{dt}; \\ \frac{RT}{S_2} G_2 &= P_2 \frac{dy}{dt}; \end{aligned} \tag{1}$$

где R – универсальная газовая постоянная, $R = 287$ Дж/кг К; K – температура в кельвинах, $K = 293^\circ$; S_1, S_2 – площадь поршня безштоковой и штоковой полостей (м²); G_1, G_2 – массовый расход воздуха поступающего или истекающего безштоковой и штоковой полостей (кг/с); y – величина перемещения штока с поршнем (м); $\frac{dy}{dt}$ или $\dot{y}$ – скорость перемещения штока с поршнем (м/с).

Запишем в уравнения (1) расходы G_1, G_2 с учетом докритического и надкритического режимов истечения сжатого воздуха в полостях цилиндра.

Для докритического режима $P_1/P_M > 0,5$, $P_a/P_2 > 0,5$ находим скорость штока с учетом наполнения безштоковой и опорожнения штоковой полости цилиндра:

$$\dot{y} = \chi_1 \frac{S_{\partial p} \sqrt{2RT}}{S_1} \sqrt{\frac{P_M}{P_1} - 1}; \quad (2)$$

$$\dot{y} = \chi_2 \frac{S_{\partial p} \sqrt{2RT}}{S_2} \sqrt{\frac{P_a (P_2 - P_a)}{P_2}}, \quad (3)$$

где χ_1 – коэффициент нелинейности, $\chi_1 = 0,02 - 0,05$, зависящий от отношения $S_{\partial p}/S_1$, χ_2 – коэффициент нелинейности, $\chi_2 = 0,01 - 0,015$, зависящий от отношения $S_{\partial p}/S_2$.

В формулах (2, 3) значение давлений P_1 , P_2 , P_M в абсолютном выражении $P_1 = P_a +$ избыточное по манометру M_1 , $P_2 = P_a +$ избыточное по манометру M_2 , $P_M = P_a +$ избыточное по манометру P_M и P_M – давление магистрали.

Для надкритического режима $P_1/P_M < 0,5$, $P_a/P_2 < 0,5$ находим скорость штока с учетом наполнения безштоковой и опорожнения штоковой полости цилиндра:

$$\dot{y} = \chi_1^1 \frac{S_{\partial p} \sqrt{2RT}}{2S_1}; \quad (4)$$

$$\dot{y} = \chi_2^1 \frac{S_{\partial p} \sqrt{2RT}}{2S_2}, \quad (5)$$

где χ_1^1 , χ_2^1 – коэффициент нелинейности, $\chi_1^1 = \chi_2^1 = 0,05 - 0,008$; $S_{\partial p}$ – площадь проходного сечения штуцера м^2 (диаметр входного и выходного штуцера – 0,002 м).

Для сравнения давления теоретического режима истечения сжатого воздуха и давления, измеряемого цифровому манометру M_1 , можно использовать уравнение (2) и решить его относительно P_1 находим:

$$P_1 = \frac{2RTS_{\partial p}^2 P_M}{\dot{Y}^2 S_1^2 + 2S_{\partial p}^2 RT}. \quad (6)$$

На рис. 3.1 представлена пневматическая схема поршневого привода. Схема состоит из двух цилиндров одного исследуемого и второго для создания постоянного усилия на штоке первого.

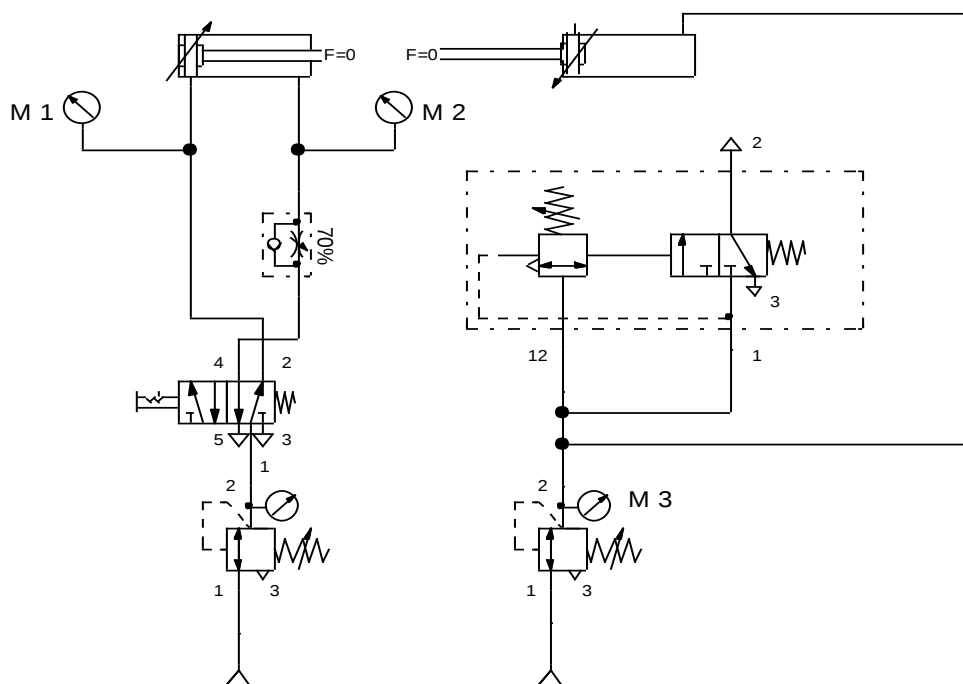


Рисунок 3.1 – Пневматическая схема с постоянной нагрузкой на штоке цилиндра

Штоки цилиндров на пневматическом стенде касаются друг друга в положении один шток цилиндра выдвинут другой втянут. Управление исследуемым цилиндром производится 5/2 – распределителем с односторонним ручным управлением. Для настройки скорости штока цилиндра при выдвижении используется в схеме дроссель с обратным клапаном. На входе первого цилиндра используется редукционный клапан с манометром (РМ). давление в полостях цилиндра измеряются цифровыми манометрами M_1 , M_2 . На входе пневматической магистрали во второй цилиндр установлен редукционный клапан с манометром M_3 . Этим редуктором устанавливается давление в полости цилиндра два (нагрузка) меньше, чем подается в цилиндр 1. При движении поршня цилиндра 2 от усилия штока цилиндра 1, в безштоковой полости цилиндра 2 будет возрастать давление и расти нагрузка на штоках цилиндров 1 и 2. Для поддержания постоянного давления в полости цилиндра 2 во время движения в магистрали установлен распределитель с возможностью настройки на давление его переключения. Как только давление в полости цилиндра 2 возрастает при принудительном движении поршня со штоком, переключается распределитель давление сбрасывается до заданного, распределитель автоматически переключается. Данный распределитель поддерживает постоянное давление (усилие на штоке) в полости цилиндра 2, при движении поршня со штоком поддерживая постоянную нагрузку при выдвижении штока цилиндра 1.

При выдвижении штока цилиндра 1 вторым цилиндром создается усилие нагрузки и справедливо уравнение (1) в виде:

$$P_1 S_1 - P_2 S_2 = F_n, \quad (7)$$

где $F_n = P_3 S_3$, P_3 – давление в безштоковой полости цилиндра 2 по манометру M_3 , S_3 – площадь поршня цилиндра 2. Скорость движения штока цилиндра 1, зависит от давлений в полостях цилиндра, нагрузки на штоке и расходе, подводимом и отводимом из полостей. В данной задаче рассматривается только фаза равномерного движения (выдвижения) штока цилиндра 1 с постоянной во время движения нагрузкой поэтому в дальнейшем целесообразно для расчетов использовать уравнения (2, 4, 6) и точно измерять цифровыми манометрами M_1 , M_3 . Цилиндр имеет характеристики: $D = 0,02$ м, $d = 0,008$ м, $L = 0,1(0,25)$ м, диаметр штуцера – дросселя $0,002$ м.

2. Содержание работы

1. Ознакомится с условными обозначениями пневмоэлементов.
2. Ознакомится с элементной базой лабораторного стенда.
3. Собрать стенд управления цилиндром двухстороннего действия и нагрузкой на штоке.
4. Оформить отчет по проделанной работе.

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с условными обозначениями и элементной базой лабораторных стендов.
2. Из набора пневмоэлементов и шлангов по схеме рис. 3.1 собрать пневматическую часть стенда.
3. Настроить редуктор по манометру M_3 1,5 бара, отрегулировать 3/2 распределитель на давление сброса в атмосферу $P_3 > 1,5$ бар.
4. Выставить на редукторе по манометру $P_m = 3,0$ бар, переключить 5/2 распределитель на выдвижение штока цилиндра 1. С помощью дросселя отрегулировать скорость выдвижения штока цилиндра 1 3...6 секунд. Измерить время выдвижения t , давления P_1 , P_2 , P_3 , P_m , данные занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

$P_3 = 1,5 \text{ бар}$				$P_3 = 2,0 \text{ бар}$				$P_3 = 0 \text{ бар}$			
P_m (бар)	P_1 (бар)	P_2 (бар)	t (с)	P_m (бар)	P_1 (бар)	P_2 (бар)	t (с)	P_m (бар)	P_1 (бар)	P_2 (бар)	t (с)
3,0				3,0				3,0			
3,5				3,5				3,5			
4,0				4,0				4,0			
4,5				4,5				4,5			
5,0				5,0				5,0			

5. Выставить на редукторе по манометру $P_m = 3,5; 4,0; 4,5; 5,0$ бар, переключить 5/2 распределитель на выдвижение штока цилиндра 1. Измерить время

выдвижения t , давления P_1, P_2, P_3, P_m , данные занести в табл. 3.1.

6. Настроить редуктор по манометру M_3 2,0 бара, отрегулировать 3/2 распределитель на давление сброса в атмосферу $P_3 > 2.0$ бар.

7. Повторить п.4, 5; данные записать в табл. 3.1.

8. Отсоединить подачу давления в цилиндр 2. Безштоковую полость цилиндра 2 соединить с атмосферой (отсоединить шланг). Повторить п.4; 5; данные записать в табл. 3.1 (цилиндр 1 без нагрузки).

9. Разобрать элементы стенда и уложить на место.

10. Сравнить экспериментальную и теоретическую скорость выдвижения штока цилиндра 1 $\dot{Y} = f(P_m)$ и давление P_1 в полости цилиндра при различных нагрузках на штоке исследуемого цилиндра. Сделать выводы по работе.

4. Содержание отчета

1. Титульный лист, наименование и цель работы.

2. Представить таблицу экспериментальных данных (времени выдвижения t , давления P_1, P_2, P_3, P_m).

3. Сравнить экспериментальную и теоретическую скорость выдвижения штока цилиндра 1 $\dot{Y} = f(P_m)$ и давление P_1 в полости цилиндра при различных нагрузках на штоке исследуемого цилиндра.

4. Вывод.

5. Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение элементов пневматической схемы?

2. Какими уравнениями описывается равномерное движение штока цилиндра?

3. Каким образом в лабораторном стенде организована нагрузка на штоке цилиндра?

4. Какие параметры влияют на скорость движения штока цилиндра?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КОНТРОЛЬНО-СОРТИРОВОЧНОГО АВТОМАТА

Цель исследования: изучить принципиальную пневматическую схему автомата, включающую в себя измерительную ветвь и пневматические исполнительные устройства на базе цилиндров двухстороннего действия. По заданной схеме из пневматических элементов собрать лабораторный стенд и изучить работу измерительного преобразователя и приводов в действии.

1. Основные сведения

1.1 Принцип действия пневматического преобразователя

В пневматических измерительных преобразователях для линейных перемещений использована зависимость между площадью χ_2 проходного сечения канала истечения и давлением воздуха h в измерительной ветви

$$h = \frac{H}{1 + \left(\frac{M_2 \cdot \chi_2}{M_1 \cdot \chi_1} \right)^2}, \quad (1)$$

где H – рабочее давление воздуха (МПа); M_1 и M_2 – коэффициенты истечения воздуха через входное и измерительное сопла; χ_1 и χ_2 – площади сечения входного и измерительного сопел (мм²).

Площади входного и измерительного сопел рассчитываются по формулам

$$\chi_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}, \quad (2)$$

$$\chi_2 = \pi d_2 Z, \quad (3)$$

где d_1 и d_2 – диаметры входного и измерительного сопел (мм); Z – зазор между торцом измерительного сопла и заслонкой (мм).

Если принять $\frac{M_2}{M_1} \approx 1$ и подставить χ_1 и χ_2 согласно (2) и (3) в формулу (1), то получим зависимость давления воздуха h от зазора Z

$$h = \frac{H}{1 + 16 \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 Z^2}. \quad (4)$$

На рис. 4.1 показана схема пневматического преобразователя, которая включает в себя входное сопло 1, измерительное 3, манометр 2 и заслонку 4.

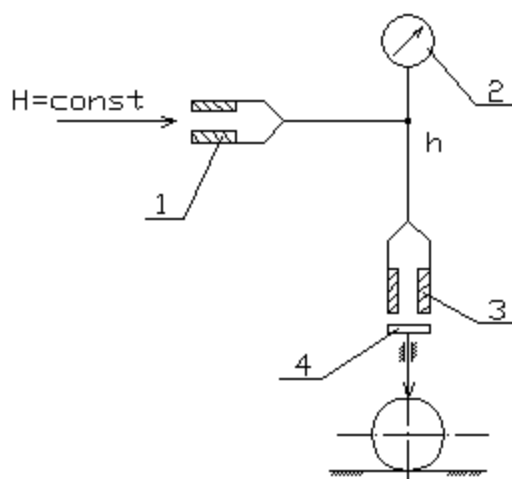


Рисунок 4.1 – Схема пневматического преобразователя

Статическая характеристика пневматического преобразователя показана на рис. 4.2.

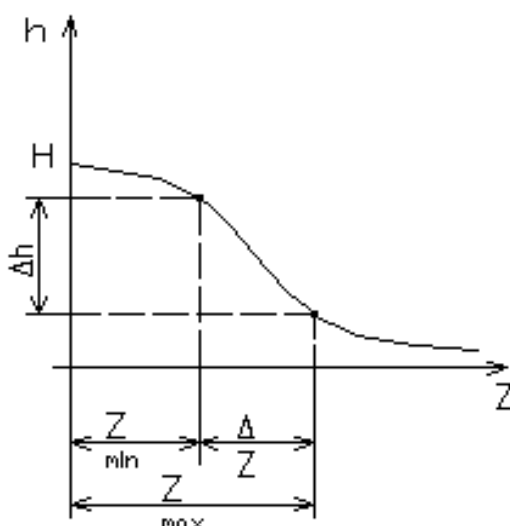


Рисунок 4.2 – Статическая характеристика пневматического преобразователя

1.2 Принципиальная схема контрольно-сортировочного автомата

Контрольно-сортировочный автомат (рис. 4.3) предназначен для измерения диаметров деталей и сортировки их на три размерные группы: «годные», «брак +», «брак –», для чего снабжен сортировочным устройством с пневматическим приводом заслонок.

Принцип действия автомата следующий. Контролируемые детали 1 поступают на измерительную позицию и в зависимости от их диаметра изменяется зазор Z между заслонкой 3, закрепленной на измерительном штыке 2 и измерительным соплом 4. При этом изменяется давление воздуха h в измерительной ветви и если размер детали выходит за пределы поля допуска, то срабатывает пневмоэлектроконтактный преобразователь 5, подающий сигнал чрез уси-

литель 6 на исполнительные механизмы 7 и 8 осуществляющие поворот соответствующих заслонок 9 и 10.

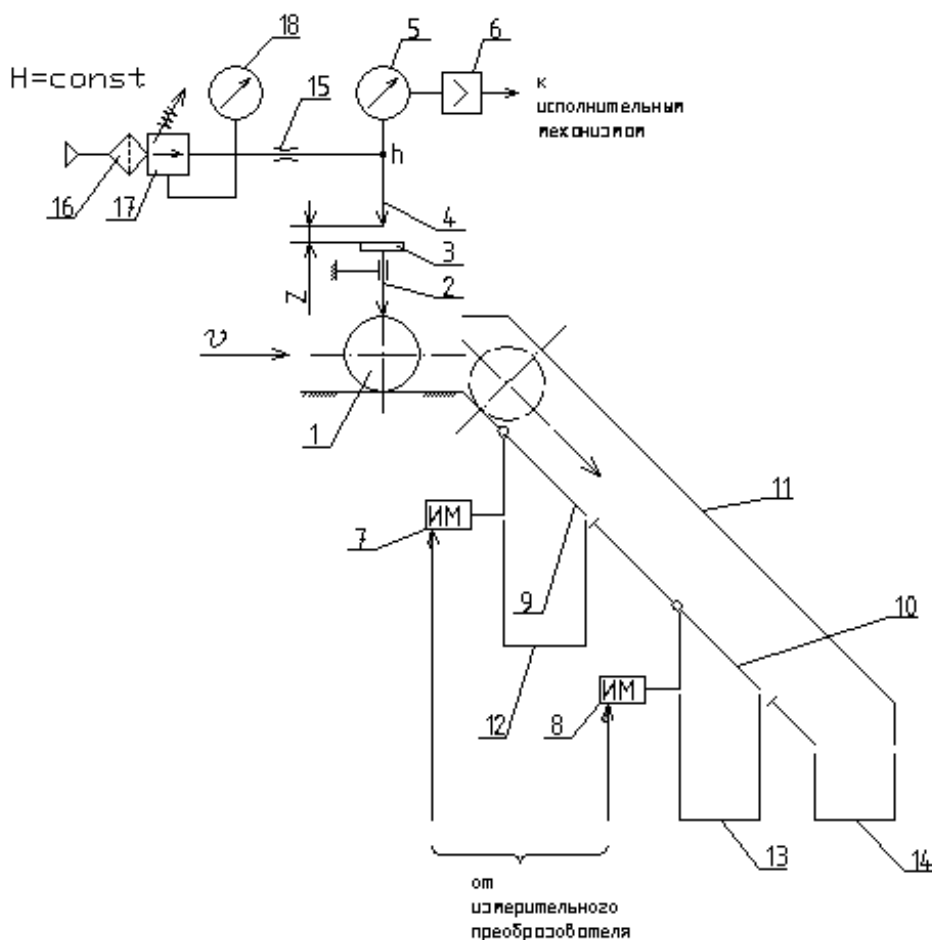


Рисунок 4.3 – Схема контрольно-сортировочного автомата

Измеренные детали в зависимости от их размера попадают по наклонному сортировочному лотку 11 в бункеры 12 («Брак +»), 13 («Брак –») или 14 («Годные»). Воздух к измерительному соплу поступает через входное сопло 15 и блок подготовки воздуха, состоящий из фильтра тонкой очистки 16, и регулятора-стабилизатора давления 17. Величина рабочего давления воздуха H устанавливается по манометру 18.

2. Содержание работы

1. Изучить принцип действия пневматического преобразователя.
2. Изучить схему контрольно-сортировочного автомата, порядок действия и назначение его основных элементов.
3. Изучить назначение и конструкцию узлов и блоков пневмооборудования.
4. Собрать пневматическую схему лабораторной установки.
5. Провести настройку входного и измерительного регулируемых дросселей измерительной ветви.

6. Провести настройку механических реле давления на верхний и нижний пределы интервала допуска диаметра контролируемой детали.

7. Проверить работу измерительной схемы и схемы управления пневматическими цилиндрами механизмов поворота заслонок сортировочного устройства.

8. Определить погрешность срабатывания механических реле давления с помощью аналогового преобразователя давления воздуха мод. 10В/20мА.

9. Оформить отчет по выполненной работе.

3. Порядок проведения работы

1. Собрать пневматическую схему лабораторной установки согласно рис. 4.4. Комплект оборудования представлен в табл. 4.1.

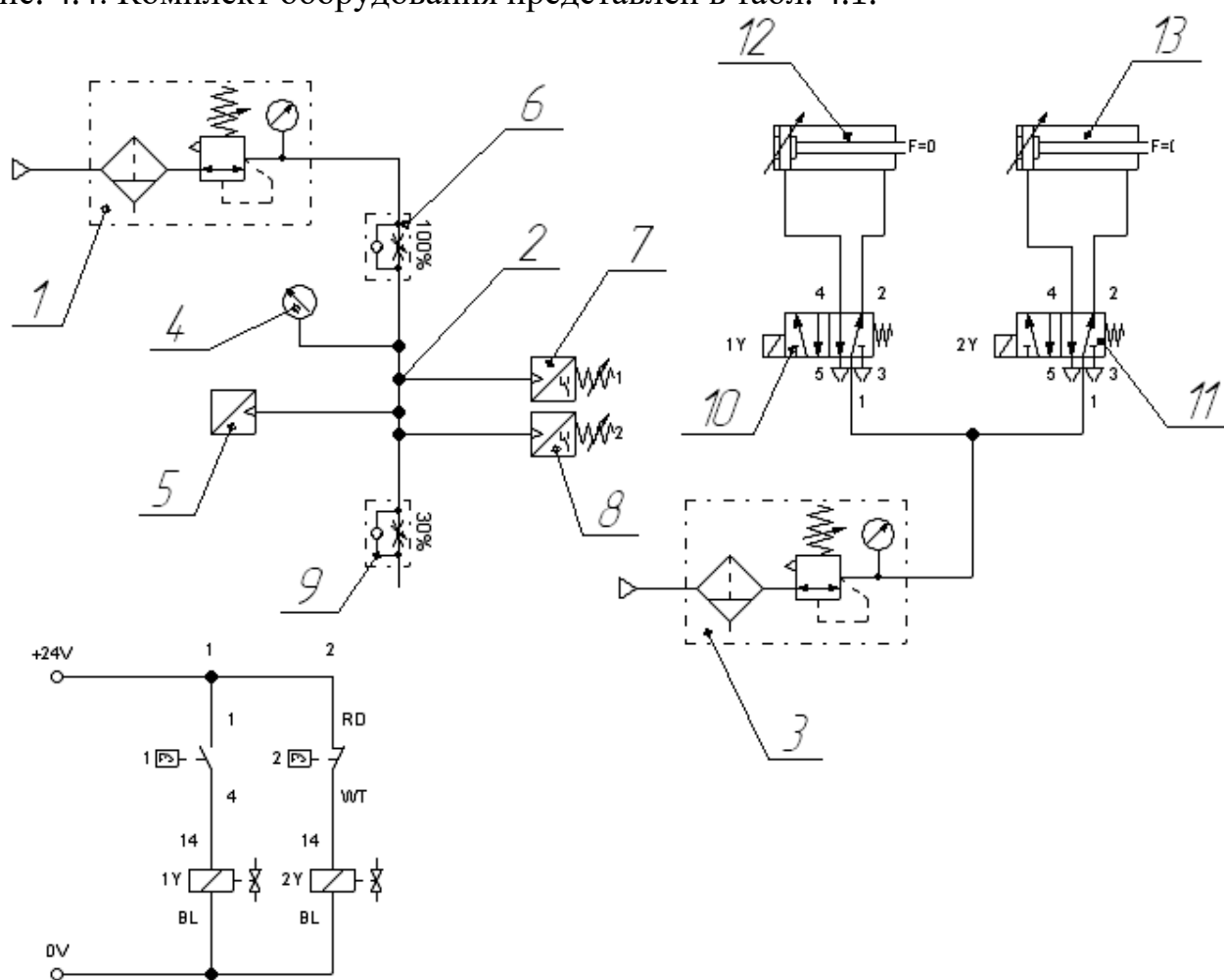


Рисунок 4.4 – Пневмоэлектрическая схема лабораторной установки

Пневматическая схема (рис. 4.4) реализует пневмо-кинематическую схему контрольно-сортировочного автомата, показанную на рис. 4.3. В качестве измерительного преобразователя давления используется аналоговый преобразователь давления воздуха 5 (рис. 4.4).

Измерительное давление соответствующее верхней и нижней границам интервала допуска контролируемой детали настраивается регулируемым изме-

рительным дросселем 9. Управляющие команды на сортировку деталей формируются реле давления 7 и 8, которые настроены на давления $h_{\max}$ и $h_{\min}$, соответствующие границам интервала допуска. При срабатывании реле давления 7 и 8 создается напряжение на распределителях с электромагнитным управлением 10 и 11. Распределители управляют подачей воздуха в полости пневмоцилиндров 12 и 13, штоки которых связаны с поворотными заслонками сортировочного механизма автомата.

Таблица 4.1 – Комплект пневмооборудования

Порядковый номер	Количество	Наименование
1,3	2	Блок подготовки воздуха, 40 μm (сервисное устройство)
2	1	Коллектор
6,9	2	Регулируемый дроссель
4	1	Манометр
5	1	Аналоговый преобразователь давления воздуха
7,8	2	Реле давления воздуха
10,11	2	Распределитель 5/2 с электромагнитным управлением и возвратом пружиной
12,13	2	Цилиндр двухстороннего действия

2. Провести настройку входного дросселя 3 (рис. 4.4).

2.1. Установить по манометру блока подготовки воздуха 1 величину рабочего давления 0,2 МПа.

2.2. Отрегулировать площадь проходного сечения входного регулируемого дросселя 6, открутив настроечный винт на 3 оборота.

3. Отрегулировать площадь проходного сечения измерительного дросселя 9 таким образом, чтобы измерительное давление по манометру 4 соответствовало значению 0,15 МПа. Это давление воздуха будет соответствовать наибольшему предельному значению контролируемого размера детали. Снять показания с дисплея мультиметра, подключенного к аналоговому преобразователю давления 5. Показание мультиметра занести в табл. 4.2.

4. Провести настройку срабатывания первого реле давления 7. Если реле давления уже сработало после установки измерительного давления 0,15 МПа, то его регулировочный винт должен быть повернут вправо до тех пор, пока контакты переключения не разомкнутся. Теперь можно начать настройку. Для этого регулировочный винт реле плавно поворачивается влево до момента срабатывания реле давления. При срабатывании реле давления включается световой сигнал на сигнализаторе распределителя 10.

5. Отрегулировать площадь проходного сечения измерительного дросселя 9 таким образом, чтобы измерительное давление по манометру 4 соответствовало значению 0,1 МПа. Это давление будет соответствовать наименьшему

предельному значению контролируемого размера детали. Снять показание с дисплея мультиметра, подключенного к аналоговому преобразователю давления 5. Показания мультиметра занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты измерений

№ реле давления	Измерительное давление, МПа	Показание мультиметра, МПа	Давление срабатывания реле по показанию мультиметра X_i , МПа					Погрешность срабатывания S , МПа
			1	2	3	4	5	
7								
8								

6. Провести настройку срабатывания второго реле давления 8. Если реле давления уже сработало (шток цилиндра выдвинут) после установки измерительного давления 0,1 МПа, то его регулировочный винт должен быть повернут влево до тех пор, пока шток цилиндра не задвинется. Если же вначале шток цилиндра не выдвинут, то регулировочный винт реле плавно поворачивается вправо до момента выдвижения цилиндра, а затем влево до втягивания. При выключении реле давления выключается световой сигнал на сигнализаторе распределителя 11.

7. Проверить срабатывание распределителей 5/2 с электромагнитным управлением 10 и 11 при замыкании и размыкании контактов соответствующих реле давления и перемещение штоков пневмоцилиндров 12 и 13.

8. Определить погрешность срабатывания механических реле давления воздуха.

8.1. С помощью ручки регулятора открыть измерительный дроссель 9. Установить измерительное давление по манометру 4 равным 0,02 МПа.

8.2. Плавно вращая ручку регулятора измерительного дросселя повышать измерительное давление до момента выключения реле давления 8. Снять показание по мультиметру и занести его в табл. 4.2.

8.3. Продолжить повышение измерительного давления вращением ручки регулятора измерительного дросселя до момента срабатывания реле давления 7. Снять показание по мультиметру аналогового преобразователя давления и занести его в табл. 4.2.

8.4. Повторить пункты 8.1 – 8.3 пять раз. По результатам измерения вычислить погрешность срабатывания каждого реле давления по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \text{ где } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i.$$

Результаты расчетов занести в табл. 4.2.

4. Содержание отчета

1. Титульный лист, наименование и цель работы.
2. Теоретические зависимости, схема контрольно-сортировочного автомата и ее описание.
3. Пневматическая схема лабораторной установки и ее описание.
4. Комплект пневмооборудования.
5. Таблица результатов измерений.
6. Выводы.

5. Контрольные вопросы

1. Назначение и область применения средств автоматического измерения линейных размеров деталей.
2. Принцип действия пневматического преобразователя.
3. Приведите статическую характеристику пневматического преобразователя.
4. Принцип действия контрольно-сортировочного автомата.
5. Назначение узлов и блоков пневматической и электрической схемы лабораторной установки.
6. Принцип работы пневмосхемы автомата на базе элементов пневмоавтоматики фирмы «FESTO».
7. Изложить методику проведения исследований.
- .

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ С ЛОГИЧЕСКИМ ЭЛЕМЕНТОМ «И» УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНУСНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы: изучить принцип измерения формы деталей в продольном сечении с помощью пневматического прибора; изучить схемы базирования деталей и схему устройства для измерения конусообразности поверхностей деталей; по заданной схеме из пневматических элементов собрать лабораторный стенд и изучить работу измерительного устройства и логического элемента «И».

1. Основные сведения

Форма деталей в продольном сечении имеет важное значение с точки зрения качества их сопряжения, обеспечения надежности и долговечности работы узлов и механизмов, оценки погрешности формы деталей. Причиной возникновения погрешности формы деталей в продольном сечении является упругая деформация её под действием сил резания. На рис. 5.1 показаны схемы базирования деталей и вид погрешности формы в продольном сечении.

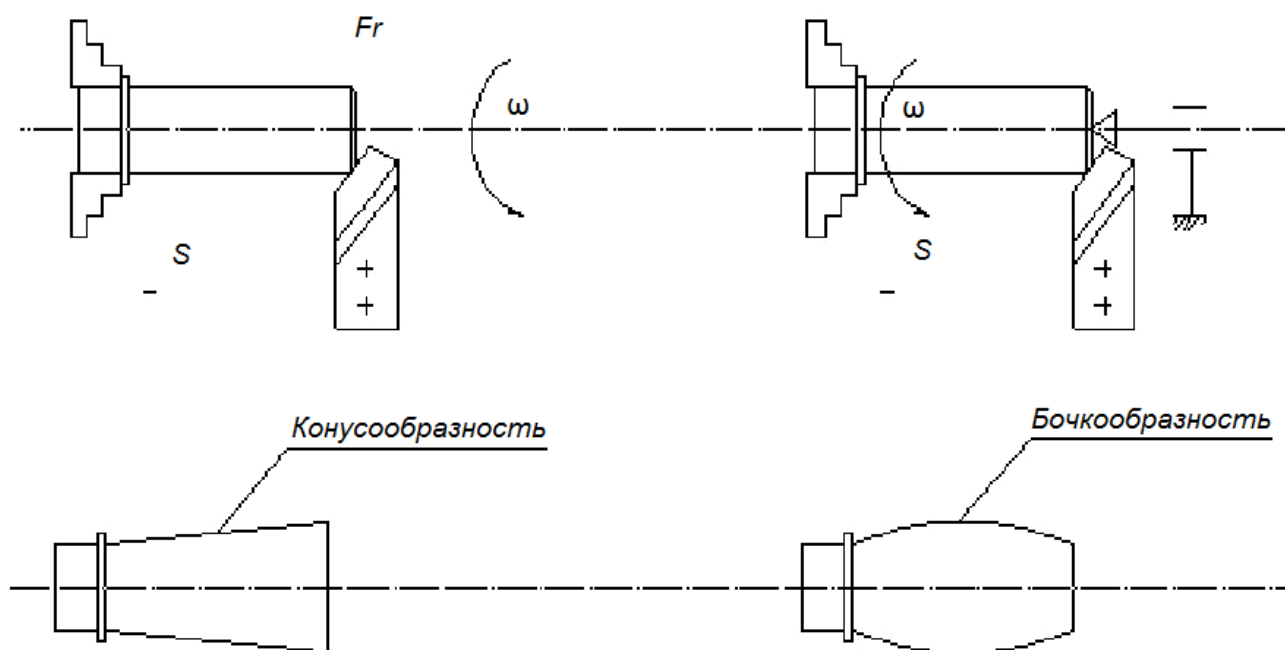


Рисунок 5.1 – Виды погрешности формы деталей в продольном сечении

Для оценки погрешности формы деталей используется принцип прилегающих линий и поверхностей. На рис. 5.2 приведен пример оценки отклонения формы продольного сечения наружной поверхности детали.

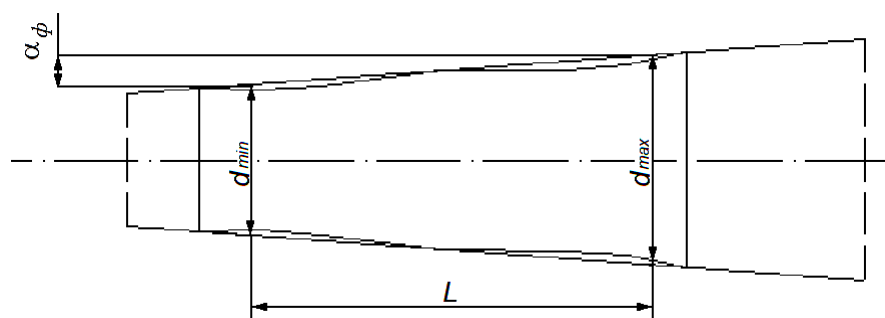


Рисунок 2.2 – Оценка отклонения формы детали

Погрешность формы α_ϕ определяется как половина разности наибольшего и наименьшего диаметров поверхности детали в крайних сечениях

$$\alpha_\phi = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2}.$$

Для измерения отклонения формы детали в продольном сечении она может базироваться в центрах (рис. 5.3, а), на оправке (рис. 5.3, б), в призме (рис. 5.3, в).

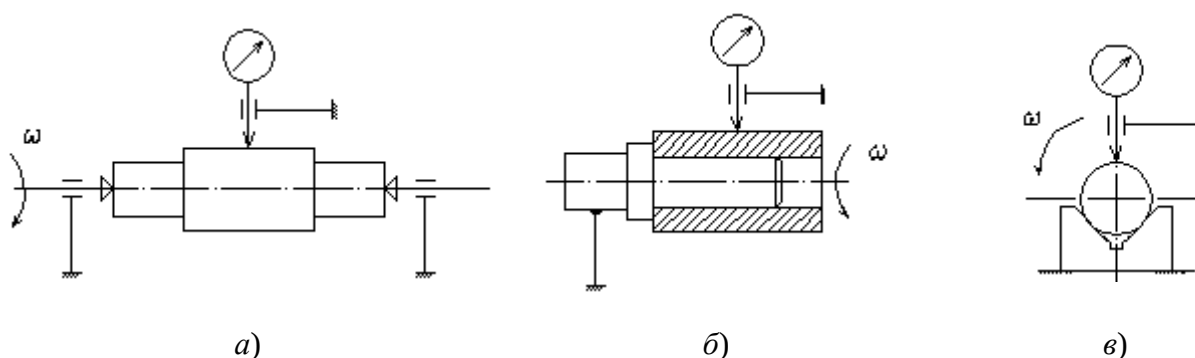


Рисунок 2.5 – Схемы базирования деталей

Погрешность формы определяется как разность показаний измерительного прибора в сечениях I и II (рис. 5.3, а, б) и половина разности показаний (рис. 5.3, в).

1.1. Анализ схем измерения конусности поверхностей деталей

Измерение конусности может производиться одноконтактным (рис. 5.3) способом или двухконтактным (рис. 5.4).

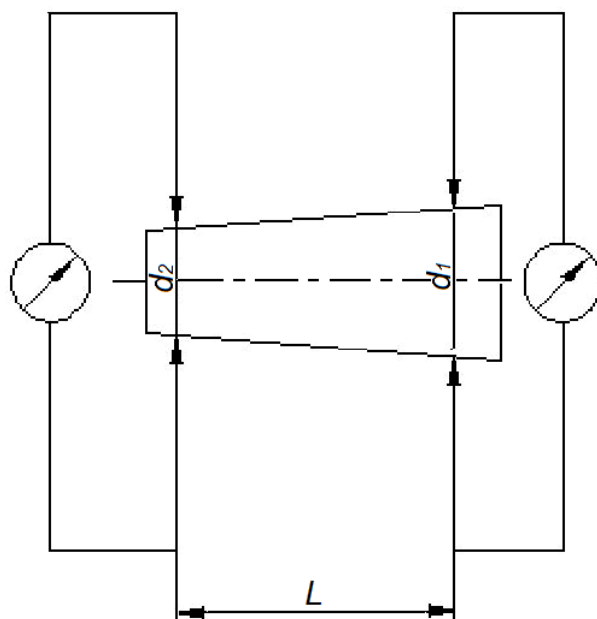


Рисунок 5.4 – Двухконтактная схема измерения

Двухконтактная схема обеспечивает более высокую точность измерения, так как устраняется погрешность базирования. При измерении конусности в сечениях *I* и *II* могут использоваться один преобразователь (рис. 5.3) или два преобразователя (рис. 5.4), измеряющих диаметры d_1 и d_2 на расстоянии L . Схема измерения с одним преобразователем является более дешёвой, но требует дополнительной направляющей и привода перемещения преобразователя вдоль оси детали.

1.2. Логический элемент «И»

Логический элемент «И» – клапан двух давлений имеет два входа и один выход. Выход клапана двух давлений включается в том случае, если имеются входные сигналы на обоих входах (X , Y) одновременно. Логические элементы в пневматической системе выполняют роль управляющих элементов. На рис. 5.5 представлен логический элемент «И».

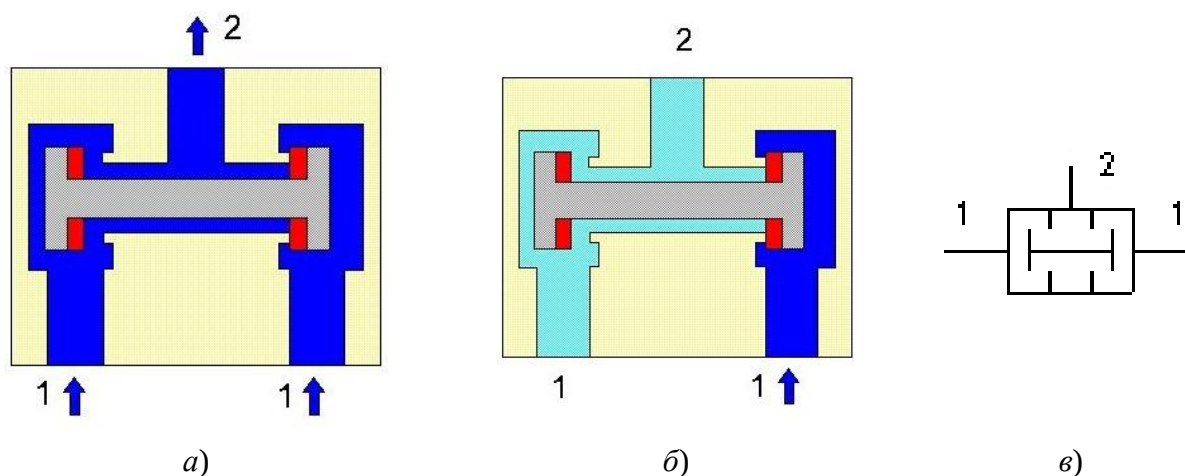


Рисунок 5.5 – Схема логического элемента «И»

Этот элемент имеет два входных канала 1 и 1(3) и один выходной 2. Сжатый воздух проходит через элемент на выходе канала 2, в случае подачи пневматического сигнала на оба его входа 1 и 1(3) (рис. 5.5, а), при этом запорный элемент находится в среднем положении и пропускает последний из поданных сигналов от каналов 1 и 1(3). При подаче одного входного сигнала по каналу 1 (рис. 5.5, б) проход воздуха на выход канала 2 блокируется прижатием подвижного элемента к седлу клапана. Аналогично и при подаче одного сигнала по каналу 1(3). На рис. 5.5, в показано условное изображение элемента «И» в пневмосхемах.

2. Содержание работы

1. Изучить схемы базирования деталей при контроле погрешности формы в продольном сечении.
2. Изучить конструкцию и принцип действия логического элемента «И».
3. Изучить назначение и конструкцию узлов и элементов пневмооборудования.
4. Изучить и собрать пневматическую схему лабораторной установки.
5. Провести настройку входного и измерительного регулируемых дросселей измерительной ветви.
6. Провести настройку механических реле давления на величину допуска погрешности формы.
7. Проверить работу измерительной схемы и схемы управления исполнительным пневмоцилиндром сортировочного устройства.
8. Определить точность измерения формы детали путем оценки погрешности срабатывания механических реле давления с помощью аналогового преобразователя давления воздуха 10В/20мА.
9. Оформить отчет по выполненной работе.

3. Порядок выполнения работы

1. Собрать пневматическую схему лабораторной установки согласно рис. 5.6. Комплект пневмооборудования представлен в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Комплект пневмооборудования

Порядковый номер	Количество	Наименование
1,2	2	Блок подготовки воздуха 40 μm (сервисное устройство)
6	2	Коллектор
3,9	2	Регулируемый дроссель
4	1	Манометр
5	1	Аналоговый преобразователь давления воздуха

Порядковый номер	Количество	Наименование
7,8	2	Реле давления воздуха
10,11	2	Распределитель 3/2 с электромагнитным управлением и пружинным возвратом
12	1	Односторонний дроссель
13	1	Ресивер
14	1	Логический элемент «И»
15	1	Пневмоцилиндр одностороннего действия
16	1	Распределитель 3/2 с односторонним пневматическим управлением и пружинным возвратом, нормально – закрытый

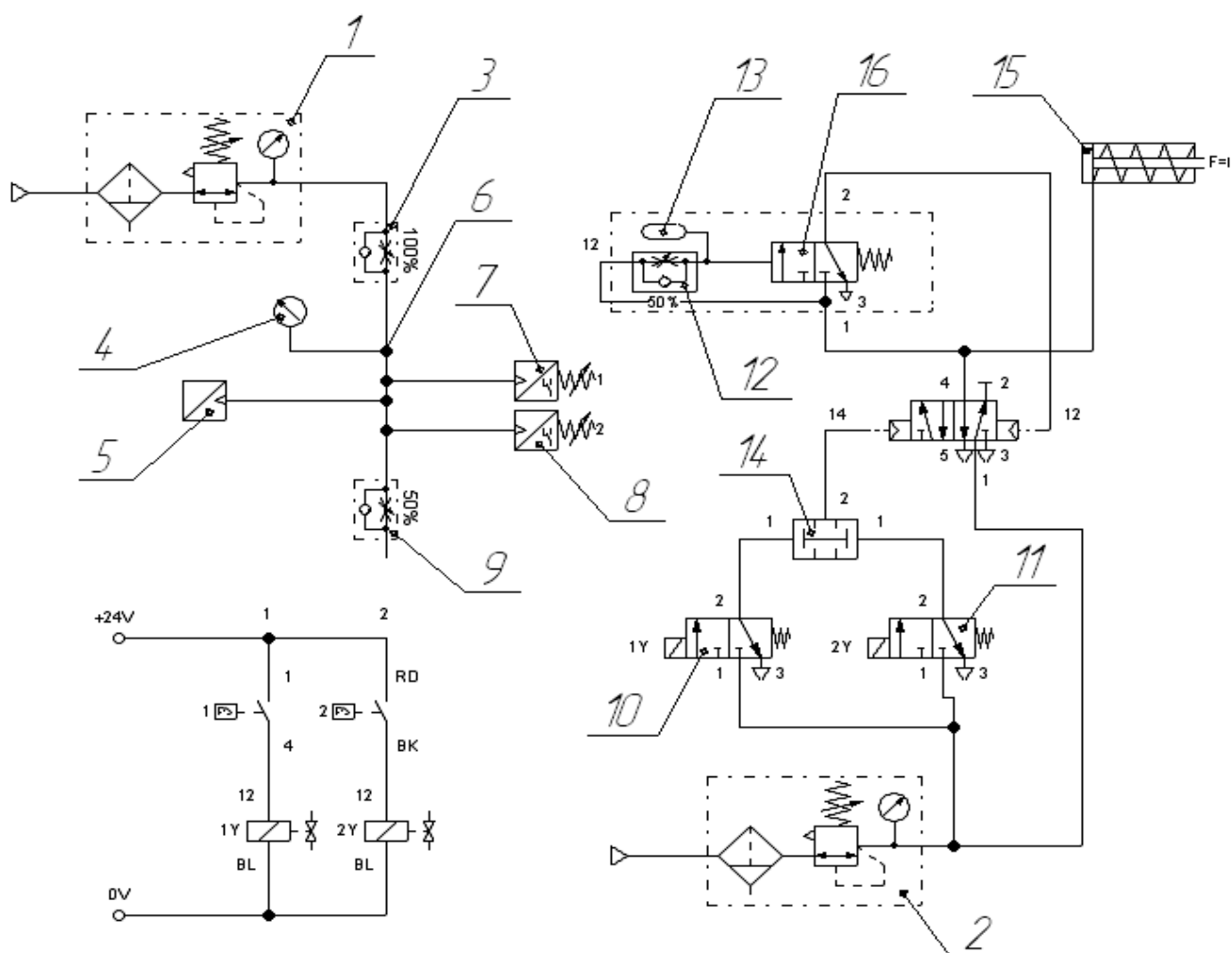


Рисунок 5.6 – Пневмоэлектрическая схема лабораторной установки

Принцип действия пневмосхемы следующий.

Давление воздуха от блока подготовки воздуха 1 подается к входному регулируемому дросселю 3. К пневматическим распределителям 3/2 с электромагнитным управлением и пружинным возвратом 10 и 11 воздух подается от блока подготовки воздуха 2. В измерительной ветви установлен коллектор 6, измерительное давление воздуха с которого подается на аналоговый преобразователь давления 5, реле давления 7 и 8 и измерительное сопло 9. Реле давления 7 и 8 настраивается на разность давлений Δh , соответствующую допускаемой величине погрешности формы. При перемещении преобразователя вдоль оси детали, имеющей погрешность формы в продольном сечении, зазор в измерительном сопле изменяется от $z_{\max}$ до $z_{\min}$, а измерительное давление на величину $\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$. Таким образом, если погрешность формы превышает допускаемую величину, то срабатывают оба реле давления 7 и 8. В качестве логического элемента в пневмосхеме используется элемент «И», который открывается при срабатывании двух реле давления.

В первом (I) сечении (рис. 5.4) давление воздуха принимает значение $h_{\min}$, срабатывает реле давления 8, распределитель 11 и давление воздуха поступает к входному каналу логического элемента 14. При движении измерительной скобы вдоль образующей конической поверхности детали зазор между измерительным соплом и заслонкой уменьшается, а измерительное давление увеличивается. Если конусообразность превышает допускаемую величину, то срабатывает реле давления 7, которое настроено на давление воздуха $h_{\max}$, и подается напряжение на электромагнит управления распределителем 10. Воздух от блока подготовки воздуха 2 поступает на управляющий вход распределителя 10. Распределитель 10 открывается и давление воздуха поступает ко второму входному каналу логического элемента «И» 14. Логический элемент 14 открывается и воздух поступает к пневмоцилиндру 15, шток которого связан с поворотной заслонкой сортировочного механизма.

После измерения конусности производится арретирование и отвод измерительной скобы, что приводит к изменению давления воздуха в измерительной ветви до значения $h < h_{\min}$ и последовательному размыканию контактов реле давления 7 и 8 и выключению элемента «И». Для задержки выключения элемента «И» на время необходимое для сортировки проконтролированной детали в схеме предусмотрены односторонний дроссель 12 и ресивер 13.

2. Провести настройку входного дросселя 3 (рис. 5.6).

2.1. Установить по манометру блока подготовки воздуха 1 величину рабочего давления 0,2 МПа.

2.2. Отрегулировать площадь проходного сечения входного регулируемого дросселя 3, открутив настроечный винт на 3 оборота.

3. Отрегулировать площадь проходного сечения измерительного дросселя 9 таким образом, чтобы измерительное давление по манометру 4 соответствовало значению 0,15 МПа. Снять показания с дисплея мультиметра, подключен-

ного к аналоговому преобразователю давления воздуха 5. Показание мультиметра занести в табл. 5.2.

4. Провести настройку срабатывания первого реле давления 7.

Если реле давления уже сработало после установки измерительного давления 0,15 МПа (h_{max}), то его регулировочный винт должен быть повернут вправо до тех пор, пока контакты переключения не разомкнутся. Теперь можно начать настройку. Для этого регулировочный винт реле плавно поворачивается влево до момента срабатывания реле давления. При срабатывании реле давления включается световой сигнал на распределителе.

5. Отрегулировать площадь проходного сечения измерительного дросселя 9 таким образом, чтобы измерительное давление по манометру 4 соответствовало значению 0,1 МПа (h_{min}). Снять показание с дисплея мультиметра аналогового преобразователя давления. Показания мультиметра занести в табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты измерений

№ реле давления	Измерительное давление, МПа	Показания мультиметра, МПа	Давление срабатывания реле по показаниям мультиметра, МПа				
			1	2	3	4	5
7	0,15						
8	0,10						
Разность давлений Δh_i		0,05					
Погрешность измерения S, МПа							

6. Провести настройку срабатывания второго реле давления воздуха 8. Повторить пункт 4. при измерительном давлении 0,1 МПа.

7. Проверить срабатывание распределителей 10, 11 и 16 при замыкании контактов соответствующих реле давления и перемещении штока пневмоцилиндра 15.

8. Определить точность измерения формы детали путем оценки погрешности срабатывания реле давления.

8.1. С помощью ручки регулятора открыть измерительный дроссель. Установить измерительное давление по манометру 4 равным 0,02 МПа.

8.2. Плавно вращая ручку регулятора измерительного дросселя повышать измерительное давление до момента срабатывания реле 8. Снять показание по мультиметру и занести его в табл. 5.2.

8.3. Продолжить повышение измерительного давления вращением ручки регулятора измерительного дросселя до момента срабатывания реле давления 7. Снять показание по мультиметру аналогового преобразователя и занести его в табл. 5.2.

8.4. Повторить пункты 8.1 – 8.3 пять раз.

По результатам измерений вычислить разность давлений $\Delta h_i = h_{\max i} - h_{\min i}$ и вычислить погрешность измерения формы детали по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

где $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$; $x_i = \Delta h_i$.

Результаты расчетов занести в табл. 5.2.

4. Содержание отчета

1. Титульный лист, наименование и цель работы.
2. Схемы базирования и измерения формы детали в продольном сечении.
3. Конструкция и принцип действия логического элемента «И».
4. Пневматическая схема лабораторной установки и ее описание.
5. Комплект пневмооборудования.
6. Таблица результатов измерений.
7. Выводы.

5. Контрольные вопросы

1. Пояснить схемы базирования и измерения конусообразности.
2. Привести схему и пояснить принцип действия логического элемента «И».
3. Назначение узлов и блоков пневматической и электрической схем лабораторной установки.
4. Пояснить принцип работы измерительной системы контроля формы деталей на базе элементов пневмоавтоматики фирмы «FESTO».
5. Изложить методику проведения исследований.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ С ЛОГИЧЕСКИМ ЭЛЕМЕНТОМ «И» И РЕЛЕ ЗАДЕРЖКИ ВЫКЛЮЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНУСНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы: изучить принцип измерения конусности деталей с помощью пневматического прибора с использованием реле задержки выключения, по заданной схеме из пневматических элементов собрать лабораторный стенд, изучить работу измерительного устройства с логическим элементом «И».

1. Основные сведения

Совокупность свойств машиностроительной продукции, характеризующая ее качества, выражается эксплуатационными показателями: мощностью, скоростью, производительностью, КПД, точностью, надежностью, долговечностью и т.д. Эти показатели зависят от функциональных параметров, важнейшими из которых являются геометрические – зазоры, размеры, форма и взаимное расположение поверхностей. На рис. 6.1 показана схема автоматизированного измерительного устройства для контроля конусности поверхности валов.

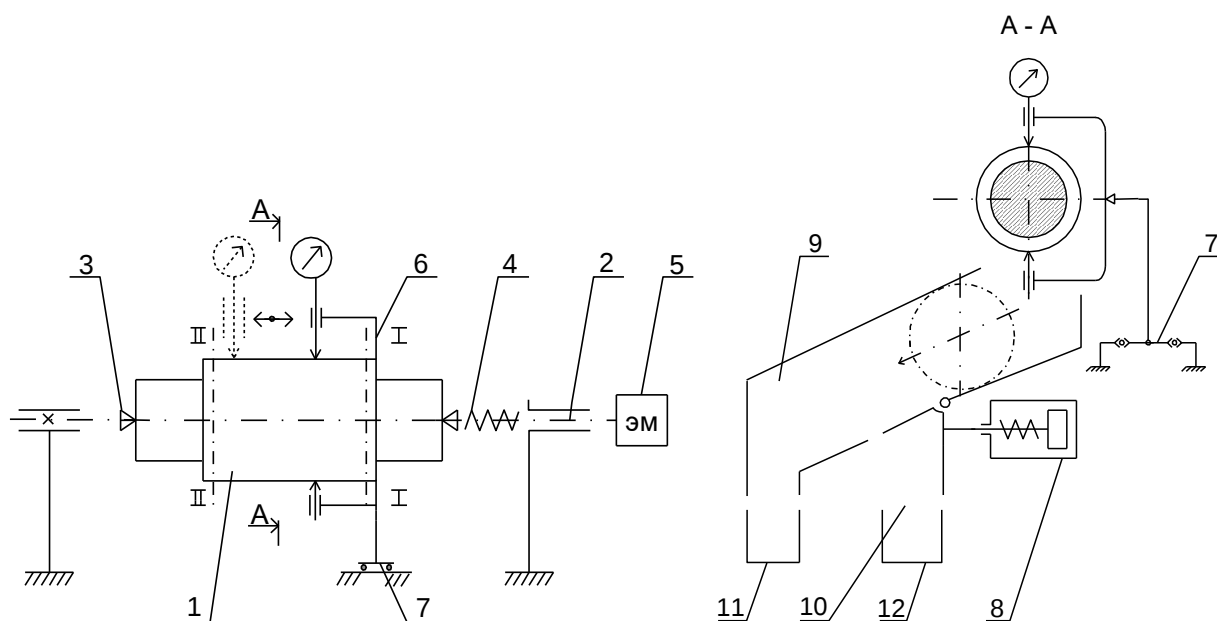


Рисунок 6.1 – Схема автоматизированного измерительного устройства

Контролируемая деталь 1 устанавливается в центра 2 и 3. Центр 2 является подвижным в осевом направлении и фиксирует деталь пружиной 4. Для отвода центра при замене детали после измерения служит электромагнит 5. Пневматическая измерительная скоба 6 установлена на подвижной каретке 7 шариковой направляющей и перемещается вдоль оси детали. При этом определяется разность наибольшего и наименьшего диаметров поверхности в крайних сечениях (I-I; II-II), которая характеризует конусность детали. Если эта разность превышает допускаемую величину, то поступает сигнал на пневмоцилиндр 8 сорти-

ровочного механизма 9, который поворачивает заслонку 10. Годные детали поступают в бункер 11, а бракованные в бункер 12 (при открытой заслонке 10).

2. Содержание работы

1. Изучить схему автоматизированного устройства для измерения конусности деталей.
2. Изучить назначение и конструкцию узлов и элементов пневмоэлектрооборудования.
3. Изучить и собрать пневматическую схему лабораторной установки.
4. Провести настройку входного регулируемого дросселя и измерительного сопла.
5. Провести настройку реле задержки выключения распределителя с электромагнитным управлением и механических реле давления воздуха на величину допуска формы продольного сечения вала.
6. Провести работу измерительной схемы и схемы управления исполнительным пневмоцилиндром сортировочного устройства.
7. Определить точность измерения величины погрешности формы путем оценки погрешности срабатывания механических реле давления с помощью аналогового преобразователя давления воздуха 10В/20мА.
8. Оформить отчет по выполненной работе.

3. Порядок выполнения работы

1. Собрать пневмоэлектрическую схему лабораторной установки согласно рис. 6.2. Комплект оборудования представлен в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Комплект пневмооборудования

Порядковый номер	Количество	Наименование
1,2	2	Блок подготовки воздуха 40 μ m (сервисное устройство)
3,9	2	Регулируемый дроссель
4	1	Манометр
5	1	Аналоговый преобразователь давления воздуха
6,15	2	Коллектор
7,8	2	Реле давления воздуха
10,11	2	Распределитель 3/2 с электромагнитным управлением и пружинным возвратом
12	1	Логический элемент “И”
13	2	Реле задержки выключения
14	1	Пневмоцилиндр одностороннего действия

Принцип действия пневмосхемы.

Давление воздуха от блока подготовки воздуха 1 подается к входному регулируемому дросселю 3. К пневматическим распределителям 3/2 с электромагнитным управлением и пружинным возвратом 10 и 11 воздух поступает от блока подготовки воздуха 2. В измерительной ветви установлен коллектор 6, измерительное давление воздуха с которого подается на аналоговый преобразователь давления 5, реле давления 7 и 8 и измерительное сопло 9, установленное в измерительной скобе. Реле давления 7 и 8 настраиваются на разность давлений Δh , соответствующую допускаемой величине погрешности формы.

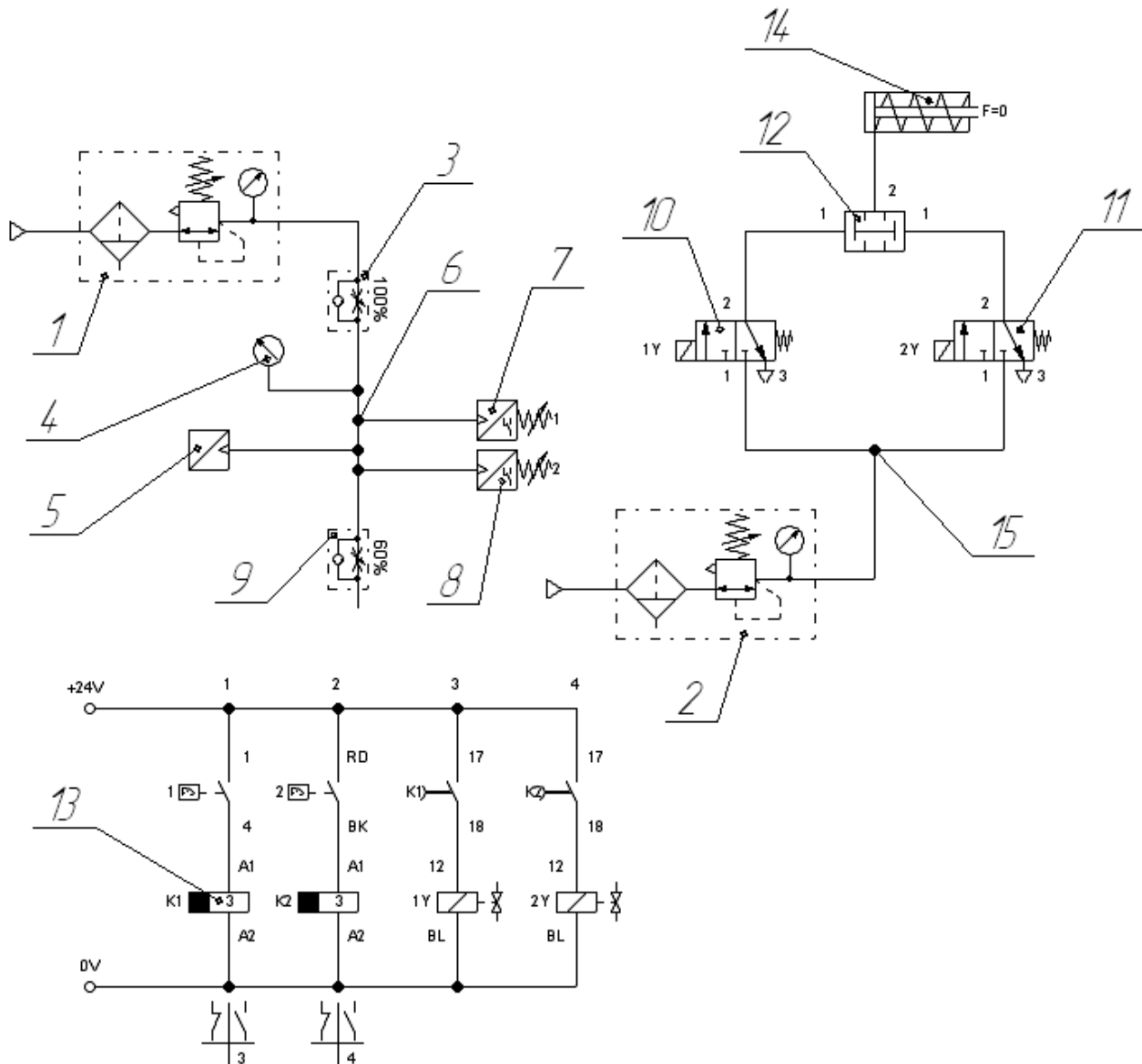


Рисунок 6.2 – Пневмоэлектрическая схема лабораторной установки

При перемещении измерительной скобы вдоль образующей поверхности детали, зазор в измерительном сопле скобы изменяется от $z_{\min}$ до $z_{\max}$, а измерительное давление от $h_{\min}$ до $h_{\max}$ ($\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$). Таким образом, если ве-

личина конусности превышает допускаемую величину, то срабатывают оба реле давления 7 и 8. В первом сечении ($I-I$) давление воздуха принимает значение $h_{\min}$, срабатывает реле давления 8, распределитель 11 и давление воздуха поступает к входному каналу логического элемента 12. При движении измерительной скобы вдоль образующей детали в сторону уменьшения ее диаметра давления воздуха в измерительной ветви увеличивается и если погрешность формы превышает допускаемую величину, то срабатывает реле давления 7, которое настраивается на $h_{\max}$ и распределитель с электромагнитным управлением 10. Воздух при этом от блока подготовки 2 поступает на второй управляющий вход логического элемента 12. Логический элемент открывается и воздух поступает к пневмоцилиндру 14, шток которого связан с поворотной заслонкой сортировочного механизма. После измерения конусности производится арретирование и отвод измерительной скобы, что приводит к изменению давления воздуха в измерительной ветви до значения $h < h_{\min}$ и последовательному замыканию контактов реле давления 7 и 8 и выключению элемента «И». Для задержки выключения элемента «И» на время необходимое для сортировки контролируемой детали в схеме предусмотрено реле 13 задержки выключения распределителя с электромагнитным управлением 10.

2. Провести настройку входного дросселя 3.

2.1. Установить по манометру блока подготовки воздуха 1 величину рабочего давления 0,2 МПа.

2.2. Отрегулировать площадь проходного сечения входного регулируемого дросселя 3, открутив настроечный винт на 3 оборота.

3. Отрегулировать площадь проходного сечения измерительного сопла 9 таким образом, чтобы измерительное давление по манометру 4 соответствовало значению 0,15 МПа. Снять показания с дисплея мультиметра, подключенного к аналоговому преобразователю давления воздуха 5. Показания мультиметра занести в табл. 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты измерений

№ реле давления	Измерительное давление, МПа	Показание мультиметра, МПа	Давление срабатывания реле по показанию мультиметра, МПа				
			1	2	3	4	5
7	0,15						
8	0,10						
Разность давлений Δh_i , МПа							
Погрешность измерения S , МПа							

4. Провести настройку срабатывания первого реле давления 7.

Если реле давления уже сработало после установки измерительного давления 0,15 МПа ($h_{\max}$), то регулировочный винт должен быть повернут вправо до тех пор, пока контакты переключения не разомкнутся. Теперь можно начать настройку. Для этого регулировочный винт реле плавно поворачивается влево до момента срабатывания реле давления. При срабатывании реле давления включается световой сигнал на распределителе.

5. Отрегулировать площадь проходного сечения измерительного сопла 9 таким образом, чтобы измерительное давление по манометру соответствовало значению 0,1 МПа ($h_{\min}$). Снять показание с дисплея мультиметра аналогового преобразователя давления. Показания мультиметра занести в табл. 6.2.

6. Провести настройку срабатывания второго реле давления 8. Повторить п. 4 при измерительном давлении 0,1 МПа.

7. Провести настройку времени задержки отключения распределителя 10 на 3 – 5 секунд с помощью реле задержки выключения 13.

8. Проверить срабатывания распределителей 10, 11, логического элемента «И» и перемещение штока пневмоцилиндра 14.

9. Определить точность измерения погрешности формы детали путем оценки погрешности срабатывания реле давления.

9.1. С помощью настроечного винта открыть измерительное сопло. Установить измерительное давление 0,02 МПа.

9.2. Плавно вращая настроечный винт измерительного сопла повышать измерительное давление до момента срабатывания реле 8. Снять показания по мультиметру и занести в табл. 6.2.

9.3. Продолжить повышение измерительного давления вращением настроечного винта измерительного сопла до момента срабатывания реле 7. Снять показание по мультиметру и занести в табл. 6.2.

9.4. Повторить пункты 9.1 – 9.3 пять раз. По результатам измерений вычислить разность давлений $\Delta h_i = h_{\max_i} - h_{\min_i}$ и вычислить погрешность измерения погрешности формы по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

где $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$; $x_i = \Delta h_i$.

Результаты расчетов занести в табл. 6.2.

4. Содержание отчета

1. Титульный лист, наименование и цель работы.

2. Кинематическая схема и описание принципа работы автоматизированного устройства для измерения конусности.

3. Пневматическая схема лабораторной установки и ее описание.
4. Комплект пневмооборудования.
5. Таблица результатов измерений.
6. Выводы.

5. Контрольные вопросы

1. Пояснить принцип работы автоматизированного устройства для измерения конусности.
2. Назначение реле задержки выключения распределителя с электромагнитным управлением.
3. Назначение узлов и блоков пневматической схемы лабораторной установки.
4. Пояснить принцип работы измерительной системы контроля конусности на базе элементов пневмоавтоматики фирмы «FESTO».
5. Изложить методику проведения исследований.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА С ЛОГИЧЕСКИМ ЭЛЕМЕНТОМ «ИЛИ»

Цель работы: изучить конструкцию и принцип действия логического элемента «ИЛИ», собрать лабораторный стенд, провести настройку пороговых устройств на базе механических реле давления воздуха и исследовать работу логического элемента «ИЛИ».

1. Основные сведения

В ряде конструкций контрольно-сортировочных автоматов не предусматривается сортировка деталей на *брак "+"* и *брак "-"*, и детали, размеры которых не соответствуют допуску на контролируемый параметр, поступают в общий бункер «брак». В этом случае управление исполнительным пневмоцилиндром поворота заслонки сортировочного механизма осуществляется с использованием логического элемента «ИЛИ».

Логический элемент «ИЛИ» имеет два входа и один выход. Выход перекидного элемента включается в том случае, если имеется один из входных сигналов на его входах или оба сигнала.

На рис. 7.1 представлен логический элемент «ИЛИ» в двух состояниях в зависимости от подачи сигналов на его входы и его условное обозначение в пневмосхемах.

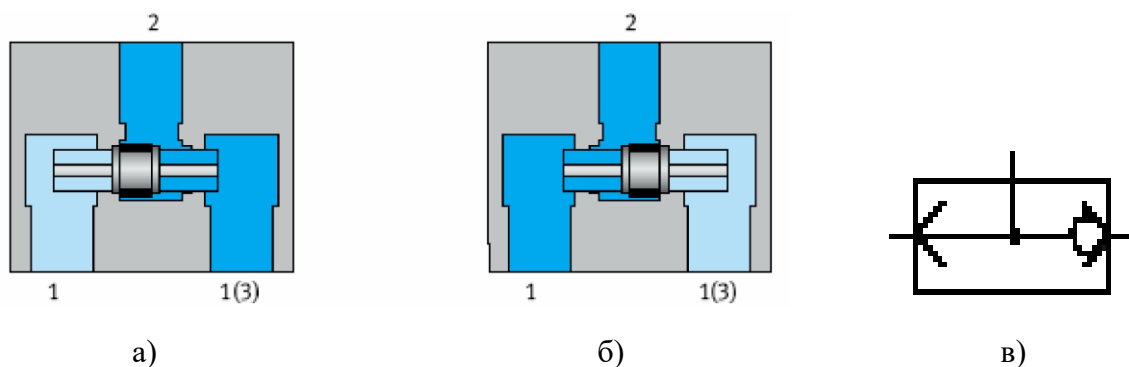


Рисунок 7.1 – Схема логического элемента «ИЛИ»

Если сжатый воздух подаётся на вход 1, то подвижный элемент закрывает вход 1(3), позволяя воздуху проходить на выход 2. При подаче сигнала по каналу 1(3) сжатый воздух запирает канал 1 и проходит в канал 2. При подаче сжатого воздуха по обоим каналам запорный элемент будет находиться в среднем положении и сжатый воздух поступает на выходной канал 2. При обратном течении сжатого воздуха, то есть когда, воздух, например, из полости цилиндра выпускается в атмосферу, подвижный элемент остается в положении последнего переключения. Если в схемах требуется два и более выходных логических сигналов управления, то следует установить несколько элементов «ИЛИ».

2. Содержание работы.

1. Изучить схему и принцип действия логического элемента «ИЛИ».
2. Изучить назначение и конструкцию узлов и элементов пневмооборудования.
3. Изучить и собрать пневматическую схему лабораторной установки.
4. Провести настройку входного и измерительного дросселей измерительной ветви.
5. Провести настройку электромеханических реле давления воздуха.
6. Проверить работу измерительной схемы и схемы управления исполнительным пневмоцилиндром сортировочного устройства.
7. Определить точность измерения деталей путём оценки погрешности срабатывания механического реле давления с помощью аналогового преобразователя давления воздуха 10В/20мА.
8. Оформить отчёт по выполненной работе.

3. Порядок выполнения работы.

1. Собрать пневматическую схему лабораторной установки согласно рис. 7.2. Комплект оборудования представлен в табл. 7.1.

Таблица 7.1 – Комплект пневмооборудования

Порядковый номер	Количество	Наименование
1, 2	2	Блок подготовки воздуха 40 μm (сервисное устройство)
3, 9	2	Регулировочный дроссель
4	1	Манометр
5	1	Аналоговый преобразователь давления
6	2	Коллектор
7, 8	2	Реле давления воздуха
10, 11	2	Распределитель 3/2 с электромагнитным управлением и пружинным возвратом
12	1	Логический элемент «ИЛИ»
13	1	Пневмоцилиндр одностороннего действия

Принцип действия пневмосхемы.

Давление воздуха от блока подготовки воздуха 1 подаётся к входному регулируемому дросселю 3. К пневматическим распределителям 10 и 11 воздух подаётся от блока подготовки воздуха 2. В измерительной ветви установлен коллектор 6, измерительное давление воздуха с которого подаётся на аналоговый преобразователь давления 5, реле давления 7 и 8 и измерительное сопло 9. Реле давления 7 и 8 настраиваются на давления $h_{\max}$ и $h_{\min}$, соответствующие

2. Провести настройку входного дросселя 3.

2.2. Отрегулировать площадь проходного сечения входного регулируемого клапана 3, открутив настроечный винт на 3 оборота.

52

Таблица 7.2 – Результаты измерений

№ реле давления	Измерительное давление, МПа	Показание мультиметра, МПа	Давление срабатывания реле по показанию мультиметра $X_{ср}$, МПа					Погрешность срабатывания S , МПа
			1	2	3	4	5	
7	0,15							
8	0,10							

4. Провести настройку срабатывания первого реле давления 7.

Если реле давления уже сработало после установки измерительного давления 0,15 МПа, то его регулировочный винт должен быть повернут вправо до тех пор, пока контакты переключения не разомкнутся. Теперь можно начать настройку. Для этого регулировочный винт реле плавно поворачивается влево до момента срабатывания реле давления. При срабатывании реле давления включается световой сигнал на сигнализаторе распределителя 10.

5. Отрегулировать площадь проходного сечения измерительного дросселя 9 таким образом, чтобы измерительное давление по манометру 4 соответствовало значению 0,1 МПа. Это давление будет соответствовать наименьшему предельному значению контролируемого размера детали. Снять показание с дисплея мультиметра. Показание мультиметра занести в табл. 7.2.

6. Провести настройку срабатывания второго реле давления 8. Если реле давления уже сработало (шток цилиндра выдвинут) после установки измерительного давления 0,1 МПа, то его регулировочный винт должен быть повернут влево до тех пор, пока шток цилиндра не задвинется. Если же вначале шток цилиндра не выдвинут, то регулировочный винт реле плавно поворачивается вправо до момента выдвижения цилиндра, а затем влево до втягивания. При выключении реле давления выключается световой сигнал на сигнализаторе распределителя 11.

7. Проверить срабатывание распределителей 10 и 11, логического элемента 12 при замыкании контактов соответствующих реле давления и перемещение штока пневмоцилиндра 13.

8. Определить погрешность срабатывания электромеханических реле давления воздуха.

8.1. С помощью ручки регулятора открыть измерительный дроссель 9. Установить измерительное давление по манометру 4 равным 0,02 МПа.

8.2. Плавно вращая ручку регулятора измерительного дросселя повышать измерительное давление до момента выключения реле давления 8. Снять показание по мультиметру и занести его в табл. 7.2.

8.3. Продолжить повышение измерительного давления вращением ручки регулятора измерительного дросселя до момента срабатывания реле давления 7. Снять показание по мультиметру и занести в табл. 7.2.

8.4. Повторить пункты 8.1 – 8.3 пять раз.

По результатам измерений вычислить погрешность срабатывания каждого реле давления по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

где $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$.

Результаты расчётов занести в табл. 7.2.

4. Содержание отчёта.

1. Титульный лист, наименование и цель работы.
2. Схема логического элемента «ИЛИ».
3. Пневматическая схема лабораторной установки и её описание.
4. Комплект пневмооборудования.
5. Таблица результатов измерений.
6. Выводы.

5. Контрольные вопросы.

1. Назначение и область применения логического элемента «ИЛИ».
2. Назначение узлов и блоков пневматической схемы лабораторной установки.
3. Принцип работы пневмосхемы автоматического измерительного устройства.
4. Методика проведения исследований.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПНЕВМОПРИВОДА ТРАНСПОРТНЫХ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ КОНТРОЛЬНО-СОРТИРОВОЧНОГО АВТОМАТА

Цель работы: изучить принципиальную пневмо-кинематическую схему контрольно-сортировочного автомата, включающую в себя измерительную ветвь и пневматические исполнительные устройства на базе цилиндров двухстороннего и одностороннего действия. По заданной циклограмме и схеме из пневматических элементов собрать лабораторный стенд и изучить работу измерительного преобразователя и приводов в действии.

1. Основные сведения

Кинематическая схема контрольно-сортировочного автомата представлена на рис. 8.1.

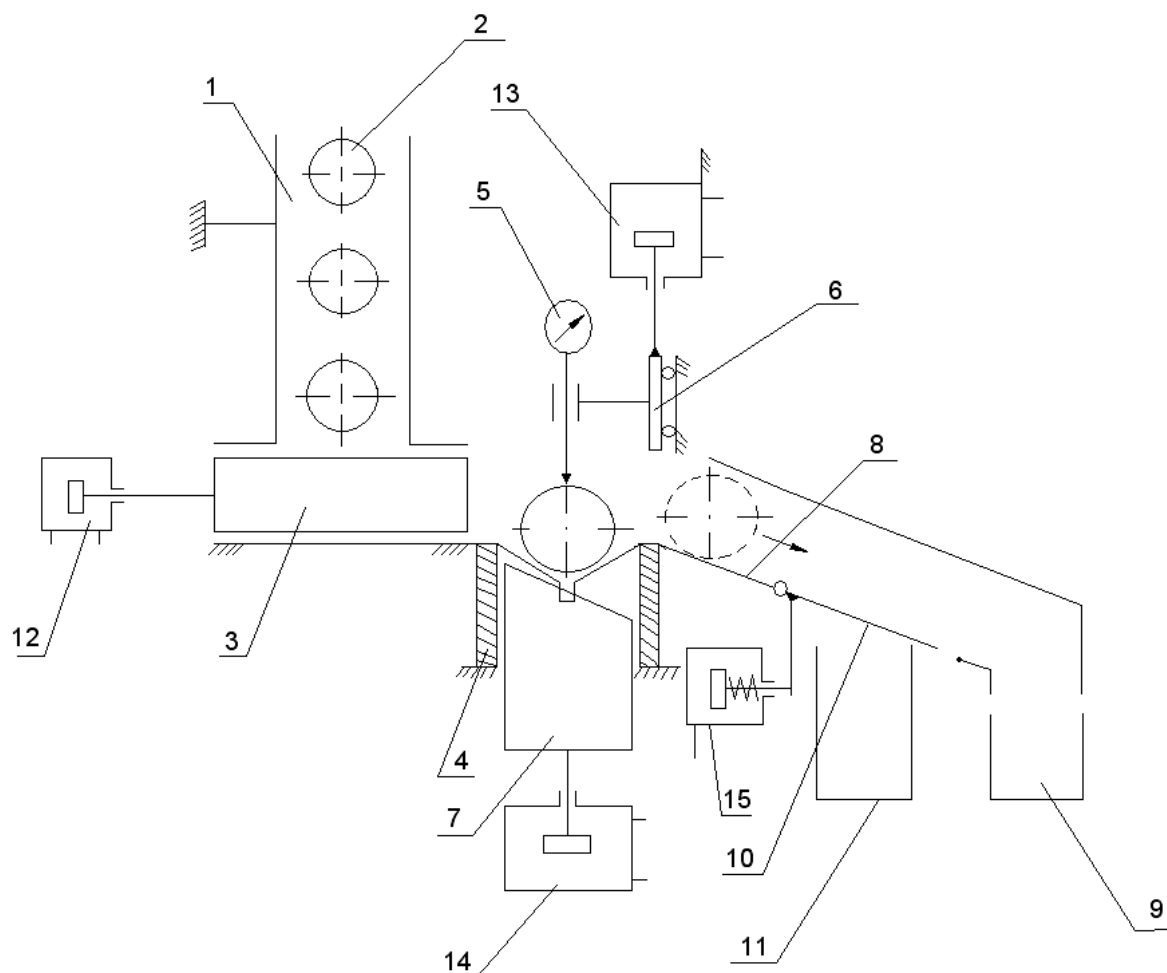


Рисунок 8.1 – Кинематическая схема автомата

Контрольно-сортировочный автомат включает в себя следующие основные узлы: загрузочное устройство, транспортирующее устройство, измерительную станцию и сортировочный механизм.

Принцип действия схемы автомата, представленной на рис. 8.1, следующий. Контролируемые детали 2 находятся в накопительном лотке 1 загрузочного устройства. Поштучная подача контролируемых деталей на измерительную позицию, где они базируются в призме 4, осуществляется с помощью шибера 3. Измерительное устройство 5 установлено на подвижной каретке 6, перемещающей его на позицию измерения, и осуществляющей отвод измерительного устройства после измерения. Толкатель 7 снимает деталь с призмы и подает ее в сортировочный лоток 8. Если деталь годная, то она попадает в бункер 9, если ее размеры выходят за пределы поля допуска, то поворачивается заслонка 10 и деталь попадает в бункер 11. Приводом исполнительных механизмов служат пневмоцилиндры 12, 13, 14, 15.

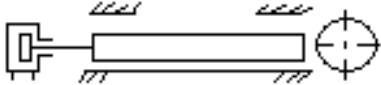
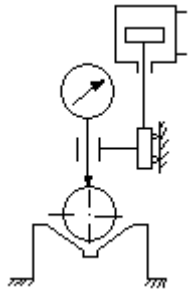
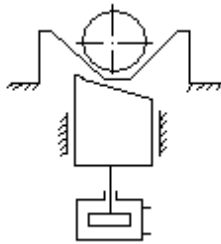
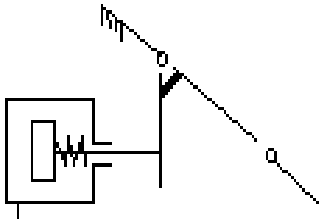
Работа исполнительных механизмов автомата может осуществляться последовательно, параллельно или параллельно-последовательно.

Наибольшей производительностью обладают контрольно-сортировочные автоматы, построенные по параллельному циклу, при котором вспомогательные операции загрузки, транспортирования и сортировки деталей выполняются в период измерения детали. Вид циклограммы определяет конструкцию транспортного механизма и сложность кинематики автомата в целом. Контрольно-сортировочные автоматы являются сложным, дорогостоящим изделием, проектируемым как специализированная измерительная система. Поэтому контрольно-сортировочные автоматы используются в условиях крупносерийного и массового производства.

Использование унифицированных узлов, блоков и деталей в конструкции механизмов подачи деталей, их транспортирование и сортировка механизмов привода вращения контролируемых деталей, перемещение измерительных станций, особенно при многопараметрическом контроле деталей сложной формы, позволяет значительно сократить затраты времени и средств на проектирование, сборку и отладку автомата и обеспечивает высокую надежность и долговечность работы механизмов.

Система промышленной пневмоавтоматики обеспечивает выполнение широкого круга задач, включает в себя пневмоприводы различных видов и элементы управления ими, дросселирующие элементы, узлы запоминания пневматических сигналов, пневмоэлектрические преобразователи, пороговые устройства, конечные выключатели и т.д. В табл. 8.1 показана циклограмма работы автомата для контроля и сортировки цилиндрических деталей, реализующая параллельно-последовательный цикл. В качестве исполнительных механизмов используются пневмоцилиндры одностороннего и двойного действия.

Таблица 8.1 – Циклограмма работы автомата

№ позиции	Наименование механизма	Схема механизма	Цикл работы, с
12	Шибер механизма подачи		
13	Механизм перемещения измерительной станции		
14	Выталкиватель		
15	Механизм поворота заслонки		

2. Содержание работы

1. Изучить кинематическую схему автомата и циклограмму его работы.
2. Изучить назначение и конструкцию узлов и блоков пневмооборудования.
3. Собрать пневматическую схему лабораторного стенда.
4. Провести настройку измерительной схемы: входного и измерительного дросселей, механических реле давления.
5. Проверить работу измерительной схемы и системы управления пневматическими цилиндрами в соответствии с циклограммой.

3. Порядок выполнения работы

1. Собрать пневматическую схему лабораторной установки согласно рис. 8.2. Комплект пневмооборудования приведен в табл. 8.2.

Таблица 8.2 – Комплект пневмооборудования

Порядковый номер	Количество	Наименование
1	1	Распределитель 3/2 с ручным управлением
2,8,12,13	5	Распределитель 5/2 с двухсторонним пневматическим управлением
3	8	Регулируемый дроссель
4,9,23	3	Пнеumoцилиндр двухстороннего действия
27	1	Пнеumoцилиндр одностороннего действия
6,11,26,29	4	Распределитель 3/2 с пневматическим управлением и возвратом пружиной
5,10,28,30	4	Распределитель 3/2 с механическим управлением роликом и возвратом пружиной
7,21,22,25	4	3/2 распределитель с задержкой включения
14,31	2	Блок подготовки воздуха
15	1	Манометр
16	7	Аналоговый преобразователь давления воздуха
17,18	2	Реле давления
19,20	2	Регулируемый дроссель
24	1	Распределитель с электромагнитным управлением

Принцип действия пневмосхемы следующий.

При нажатии кнопки распределения 1 с ручным управлением воздух от блока подготовки воздуха поступает к управляющему входу распределителя 5/2 с двухсторонним пневматическим управлением 2. Распределитель 2 открывается и воздух через дроссель поступает в левую полость пневмоцилиндра 4, который является приводом шибера, подающим измеряемую деталь из накопительного лотка в базирующую призму. В крайнем правом положении шток пневмоцилиндра 4 нажимает на конечный выключатель (S1) распределителя 5 и воздух подается к распределителю 6 и его управляющему входу через линию задержки 7. Распределитель 7 открывается и воздух поступает на управляющие входы распределителей 2 и 8. При этом распределитель 2 переключается, воздух подается в правую полость цилиндра 4, и шток его возвращается в крайнее левое положение. Распределитель 8 подает воздух в левую полость цилиндра 9 перемещающего измерительную станцию вниз в положение измерения. В крайнем правом положении шток цилиндра 9 нажимает на переключатель 10, который открывает подачу воздуха к управляющему и входному каналам распределителя 11 и давление подается на управляющие входы распределителей 8 и 12. Одновременно воздух поступает на управляющий вход распределителя 13, включающий подачу воздуха от блока подготовки 14 в измерительную ветвь, включающую манометр 15, аналоговый преобразователь 16, два реле давления 17 и 18, входной дроссель 19 и измерительный 20.

Дроссель и ресивер 21 обеспечивают задержку времени выполнения управляющих команд, необходимую для измерения детали (на циклограмме выстой в нижнем положении). Если размер детали выходит за пределы поля допуска срабатывает одно из реле давления 17 или 18 и управляющий электрический сигнал поступает на распределитель 24, который через линию задержки 25 подает пневматический сигнал на управляющий вход распределителя 26. При этом воздух поступает в пневмоцилиндр 27 поворота заслонки сортировочного механизма. После завершения измерения детали шток пневмоцилиндра 9 возвращается в крайнее левое положение, при этом срабатывает переключатель 30, подающий воздух на второй управляющий вход распределителя 13, а цилиндр 23 выталкивателя перемещается вправо и выталкивает деталь с базирующей призмы в сортировочный лоток. При возврате поршня 9 измерительная станция поднимается вверх. В правом положении шток цилиндра 23 нажимает на переключатель 28, который через линию задержки 22 и распределитель 29 возвращает его в левое положение. Распределитель 13 закрывает подачу воздуха в измерительную ветвь, контакты реле давления 17, 18 размыкаются, распределитель 24 закрывается и поршень цилиндра 27 возвращается в исходное положение. Таким образом, цикл измерения заканчивается.

2. Провести настройку входного дросселя 19.

2.1. Установить по манометру блока подготовки воздуха 14 величину рабочего давления 0,2 МПа.

2.2. Отрегулировать площадь проходного сечения входного регулируемого дросселя 19, открутив настроечный винт на 3 оборота.

3. Отрегулировать площадь проходного сечения измерительного дросселя 20 таким образом, чтобы измерительное давление по манометру 15 соответствовало значению 0,15 МПа. Это давление воздуха будет соответствовать наибольшему предельному значению контролируемого размера детали. Снять показания с дисплея мультиметра, подключенного к аналоговому преобразователю давления 16.

4. Провести настройку срабатывания первого реле давления 17.

Если реле давления уже сработало после установки измерительного давления 0,15 МПа, то его регулировочный винт должен быть повернут вправо до тех пор, пока контакты переключения не разомкнутся.

Теперь можно начать настройку. Для этого регулировочный винт реле плавно поворачивается влево до момента срабатывания реле давления. При срабатывании реле давления включается световой сигнал на сигнализаторе распределителя 24.

5. Отрегулировать площадь проходного сечения измерительного дросселя 20 таким образом, чтобы измерительное давление по манометру 15 соответствовало значению 0,1 МПа. Это давление будет соответствовать наименьшему предельному значению контролируемого размера детали. Снять показания с дисплея мультиметра.

6. Провести настройку срабатывания второго реле давления 18.

Повторить пункт 4 при измерительном давлении 0,1 МПа.

7. Проверить работу пневматической схемы в целом в соответствии с заданной циклограммой.

4. Содержание отчета

1. Титульный лист, наименование и цель работы.
2. Кинематическая схема контрольно-сортировочного автомата и ее описание.
3. Циклограмма работы автомата.
4. Пневматическая схема лабораторной установки и ее описание.
5. Выводы.

5. Контрольные вопросы

1. Основные узлы и блоки контрольно-сортировочного автомата.
2. Принцип действия кинематической схемы автомата.
3. Виды циклов работы автомата.
4. Принцип работы пневматической схемы автомата на базе элементов пневмоавтоматики фирмы «FESTO».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем: Учебное пособие / Гагарина Л.Г. – М.: ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФРА-М, 2017. – 384 с.
2. Основы построения автоматизированных информационных систем: учебник / В.А. Гвоздева, И.Ю. Лаврентьева. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2018. – 318 с.
3. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем: учеб. пособие / Л.Г. Гагарина. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2018. – 384 с.
4. П. Кроссер. Учебный курс по технике управления. Пневматика TP101: Учебное пособие/П. Кроссер. Ф. Эбель. – Киев: Изд-во ДП «Фесто», 2002. – 225 с.: ил.
5. Г. Преде. Основной курс, Электропневматика TP201: Учебное пособие / Г. Преде, Д. Штоль. – Москва: Изд-во ООО «Фесто-РФ», 2003. – 291 с.: ил.
6. Пашков Е.В. Электропневматика в производственных процессах: Учебное пособие/Е.В. Пашков, Ю.А. Осинский, А.А. Четверкин; Под ред. Е.В. Пашкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003. – 496 с.: ил.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

*Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам по дисциплине*

Составители: **Васютенко** Александр Павлович,
Балакина Наталья Анатольевна, **Майстришин** Михаил Михайлович,
Поливцев Виктор Петрович, **Поливцев** Владимир Викторович

В авторской редакции

Изд. № 138/2020. Объем 4 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»