

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра «Вакуумная и компрессорная техника»**

**ПНЕВМАТИКА, ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА И
СИСТЕМЫ**

**Электронный учебно-методический комплекс
для специальности**

1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника»

Минск БНТУ 2024

Составители: Заведующий кафедрой Корнеев С.В., старший преподаватель Орлова Е.П.

Электронный учебно-методический комплекс предназначен для методического обеспечения учебной дисциплины «Пневматика, пневматические устройства и системы» и разработан в соответствии с учебной программой дисциплины.

ЭУМК предназначен для студентов дневной и заочной формы получения образования специальности 1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника».

Требования к системе: IBM PC-совместимых ПК стандартной конфигурации, дисковод CD-ROM.

Открытие ЭУМК производится посредством запуска файлом в браузере Internet Explorer/

Белорусский национальный технический университет

Пр-т Независимости, 65, г. Минск. Республика Беларусь

Тел. 2676689

E-mail: bntu@bntu.by

<http://bntu.by>

Регистрационный номер БНТУ-ЭУМК-ИПФ109-105 от 08.07.2024г.

БНТУ, 2024

С.В. Корнеев, Е.П. Орлова

СОДЕРЖАНИЕ

<u>ВВЕДЕНИЕ</u>	4
<u>ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ</u>	5
<u>Раздел 1 Основные понятия о газах под давлением и области применения пневматических систем</u>	5
<u>Тема 1.1 Понятие газа, особенности сжатого воздуха, основные законы и уравнения потока газа. Основные требования безопасности при использовании пневмосистем.....</u>	5
<u>Тема 1.2 Структура пневматической системы. Достоинства и недостатки пневмосистем....</u>	22
<u>Тема 1.3 Области применения пневматических систем.....</u>	24
<u>Тема 1.4 Основные элементы пневмосистем. Связь функций элементов пневматических систем с обозначением их на принципиальных схемах.....</u>	41
<u>Раздел 2 Элементы и схемы пневмосистем и пневмоприводов.....</u>	47
<u>Тема 2.1 Производство и распределение сжатого воздуха</u>	47
<u>Тема 2.2 Основные понятия о трубопроводах и арматуре, расчет трубопроводов.....</u>	66
<u>Тема 2.3 Исполнительные устройства пневмоприводов.....</u>	78
<u>Тема 2.4 Распределительная аппаратура.....</u>	110
<u>Тема 2.5 Регулирующая и вспомогательная аппаратура, элементы пневмоавтоматики....</u>	123
<u>Тема 2.6 Измерительные приборы и инструмент.....</u>	131
<u>Тема 2.7 Электропневматические схемы. Примеры реализации пневмосхем.....</u>	135
<u>Раздел 3 Динамика пневмоприводов.....</u>	161
<u>Тема 3.1 Динамический анализ пневмоприводов</u>	161
<u>Тема 3.2 Динамический синтез пневмоприводов.....</u>	177
<u>ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....</u>	182
<u>РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....</u>	221
<u>ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....</u>	223

ВВЕДЕНИЕ

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) разработан в соответствии с учебной программой дисциплины «Пневматика, пневматические устройства и системы» для специальности 1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника», представляет собой комплекс систематизированных учебных и методических материалов и предназначен для методического и информационного обеспечения учебной дисциплины. Данная дисциплина изучается студентами второго курса и дает общие представления о пневматических устройствах и системах.

Цель создания ЭУМК – обеспечить качественное учебно-методическое оснащение учебного процесса, способствующее подготовке высококвалифицированных специалистов, обладающих знаниями об области применения пневматических устройств и систем, принципе работы пневмоэлементов, устройстве пневмоаппаратов и построении пневматических и электропневматических схем, закономерностях работы пневмоприводов. Структура и содержание учебных материалов электронного УМК способствует системному освоению учебного материала и вовлечению обучающихся практически во все этапы учебного процесса: от разработки и принятия целей обучения до рефлексии и оценки (самооценки) образовательных результатов через самостоятельную учебную и исследовательскую работу.

Состав пособия

Разработанный ЭУМК включает в себя теоретический и практический разделы, раздел контроля знаний и вспомогательный раздел.

Материалы теоретического раздела ЭУМК представлены электронным пособием.

Практический раздел ЭУМК содержит учебные материалы и методические указания для выполнения лабораторных работ. Индивидуальные задания позволяют организовать продуктивную самостоятельную работу студентов.

Раздел контроля знаний ЭУМК включает перечень вопросов для изучения учебного материала дисциплины.

Вспомогательный раздел содержит учебную программу дисциплины «Пневматика, пневматические устройства и системы», включающую перечень литературных источников, рекомендуемых для изучения данной учебной дисциплины.

Знакомство с ЭУМК

Несомненным достоинством данного ЭУМК является то, что его использование не требует дополнительных усилий обучающегося по освоению интерфейса. После запуска ЭУМК он отображается на экране в формате .pdf, хорошо знакомом каждому пользователю компьютера.

В левой части находится окно навигации с материалами ЭУМК. В правом окне отображается содержание разделов ЭУМК. Используя окно навигации, можно легко увидеть структуру ЭУМК и перемещаться по его разделам. При щелчке мыши по любому из элементов в окне навигации отображается соответствующий элемент содержания ЭУМК. Гиперссылки традиционно выделены синим цветом и подчеркиванием. Просмотренные гиперссылки изменяют свой цвет на фиолетовый.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Раздел I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ГАЗАХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Тема 1.1 Понятие газа, особенности сжатого воздуха, основные законы и уравнения потока газа. Основные требования безопасности при использовании пневмосистем

Газы, применяемые в различных областях науки и техники.

Технические газы – химические вещества и их соединения в газообразном или жидком (при сжижении) состоянии, получаемые искусственным путём при разделении атмосферного воздуха, выделением из углеводородного сырья или химическими способами, хранящиеся под давлением в специальных сосудах и используемые в производственных и бытовых целях.

Виды технических газов

Азот, аргон, кислород – получают в процессе разделения атмосферного воздуха на кислород и азот на специальном оборудовании – воздухоразделительных установках. Двуокись углерода получают при попутном сжигании углеводородов или в пивном производстве (брожение). Ацетилен – производится путём выделения газа при взаимодействии карбида кальция с водой. Гелий – выделяется при добыче гелийсодержащих природных газов. Пропан-бутановая смесь – выделяется при добыче углеводородного сырья.

Технические газы используют в производстве товаров (металлургия, химическая промышленность), при выполнении строительно-монтажных работ (сварочные работы, работы по резке металлов), добыче углеводородов, в пищевой промышленности (при охлаждении продуктов, производстве газированных напитков), сельском хозяйстве, производстве оружия, метрологии (в измерительных приборах), в развлекательных целях (надуваемые гелием воздушные шары). Наряду с техническими газами выделяют такой их подвид, как медицинские газы, используемые в работе медицинских приборов, в лечебных и реанимационных процедурах. Основным медицинским газом является медицинский кислород.

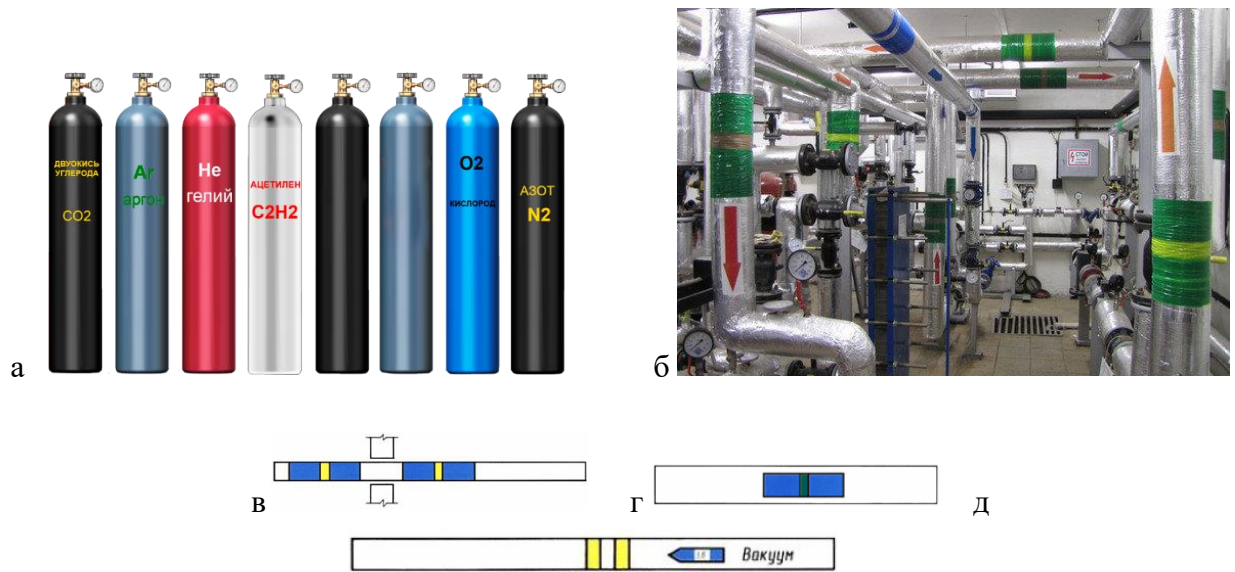
В настоящее время на рынке получают широкое распространение газовые смеси, которые позволяют сделать результат работ или процедур более высоким по качеству. В качестве примера можно привести сварочные газовые смеси (к примеру, защитная газовая сварочная смесь на основе углекислоты и аргона), медицинские газовые смеси и поверочные газовые смеси (используются в метрологии) на основе особо чистых газов.

Транспортировка технических газов

Основной способ транспортировки технических газов – перевозка различными видами транспорта в сосудах, работающих под давлением (газовых баллонах вместимостью от 10 до 50 л).

Каждому техническому газу при транспортировке в баллонах соответствует баллон особого цвета (рис.1.1.1): для кислорода – голубого, для пропан-бутана – красного, для аргона – серого, для азота – чёрного, для ацетилена – белого, для гелия – коричневого, для углекислоты – чёрного цвета.

При распределении газов используются трубопроводы, которые также маркируют определенным образом (рис.1.1.1).



а – баллоны с техническими газами; б – пример цветовой окраски трубопроводов; в – окраска трубопровода с сжатым воздухом; г – окраска трубопровода с атмосферным воздухом; д – трубопровод с воздушным вакуумом

Рисунок 1.1.1 – Цветовая окраска баллонов различных технических газов и трубопроводов сжатого воздуха

Возможна транспортировка технических газов в жидком состоянии (жидкий кислород, азот, аргон) в автомобильных или железнодорожных цистернах.

При использовании технических газов в различных областях техники используют устройства имеющие функциональное назначение и конструкции подобные рассматриваемым ниже для пневматических систем с некоторыми особенностями. В пневматических системах преимущественное использование по причине его наличия практически в любой точке и дешевизны получил атмосферный воздух.

В зависимости от качества атмосферного воздуха, забираемого из атмосферы и требований, предъявляемых к его качеству потребителем воздух может проходить соответствующую подготовку путем очистки.

Состав и физические свойства сухого воздуха, загрязнения воздуха, влажность воздуха, давление воздуха.

Окружающий нас атмосферный воздух – это смесь некоторых газов, водяного пара, твёрдых и жидких примесей. Количество составляющих может изменяться в зависимости от местности и температуры.

Основные составляющие сухого воздуха (в объёме): азот – 78,08 %; кислород 20,95 %; инертные газы (аргон) – 0,93 %; углекислый газ – 0,035%; другие газы – остальное. Объемный состав сухого воздуха для наглядности представлен на рисунке 1.1.2.

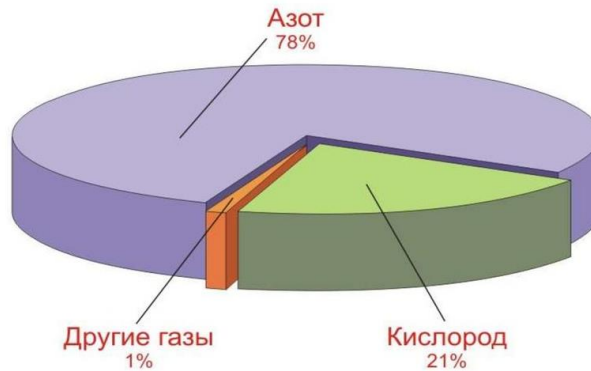


Рисунок 1.1.2 – Объемный состав сухого воздуха

Характеристики пневматических установок связаны с физическими свойствами воздуха, а именно: вязкостью (внутреннее трение) – свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой (она может выражаться Па·с при использовании динамического коэффициента и других единицах, а также в м²/с, сантистоксах и других единицах при задании кинематического коэффициента); сжимаемостью воздуха.

Атмосферный воздух всегда содержит определенное количество различных загрязнений. Атмосферные загрязнения оказывают негативное влияние на промышленное применение воздуха. 80% пыли состоит из мельчайших частиц до 2 микрон (1 микромметр равен 1/1000 мм), то есть 112 миллионов мельчайших частиц до 2 микрон на м³ воздуха.

Пылевые частицы в воздух атмосферы поступают в процессе работы автомобильного транспорта, промышленности и т.п., а также подъема с поверхности ветром. Газообразные углеводороды, выходящие из труб заводов, выхлопы двигателей внутреннего загорания, достигают 0,004 грамма на литр воздуха.

Компрессоры при сжатии и подаче воздуха также вносят свои загрязнения: крупные частицы износа, а также ржавчина; окисляемое масло, необходимое для их работы.

Давление воздуха, единицы давления

Давление характеризуется силой F действующей на единицу поверхности S перпендикулярно этой поверхности. Единица измерения силы [Ньютон] – это значение силы, воздействующей на тело в 1 кг, с ускорением 1 м/с². Встречается и другая единица силы – «килограмм-сила» (кгс или kgf) которая выражает усилие, эквивалентное массе 1 кг с ускорением 9,80665 м/с².

1 кгс = 9,80665 ньютонов (точно) \approx 10 Н.

Единица измерения [Паскаль] (Па или Pa) – определяется как давление, получаемое от воздействия силы в 1 Н на поверхность равную 1м².

Единица давления БАР (бар или bar) – определяется как давление, получаемое от воздействия силы в 1даН на поверхность равную 1см². **1 бар = 100000 Па = 0,1 МПа**

Атмосферное давление: Это давление, вызванное атмосферным воздушным слоем, который покрывает поверхность земли (толщина атмосферного слоя около 33 километров).

На уровне моря, в широте 45°, при температуре 0°С и влажности 65%, **атмосферное давление** поднимается на **760 мм ртутного столба** или на **10,33 м водяного**, что равно 1 атмосфере (атм. / atm).

В пневматике используются различные виды давления, поэтому необходимо конкретизировать о каком давлении идет речь.

АБСОЛЮТНОЕ ДАВЛЕНИЕ = АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ + ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Относительное давление может быть ниже и выше уровня атмосферного давления, т.е. разрежением или избыточным давлением. Относительное избыточное давление часто называют манометрическим (это давление показывает манометр как разность между абсолютным давлением и атмосферным давлением действующих на специальную трубку Бурдона) (рис.1.1.3).

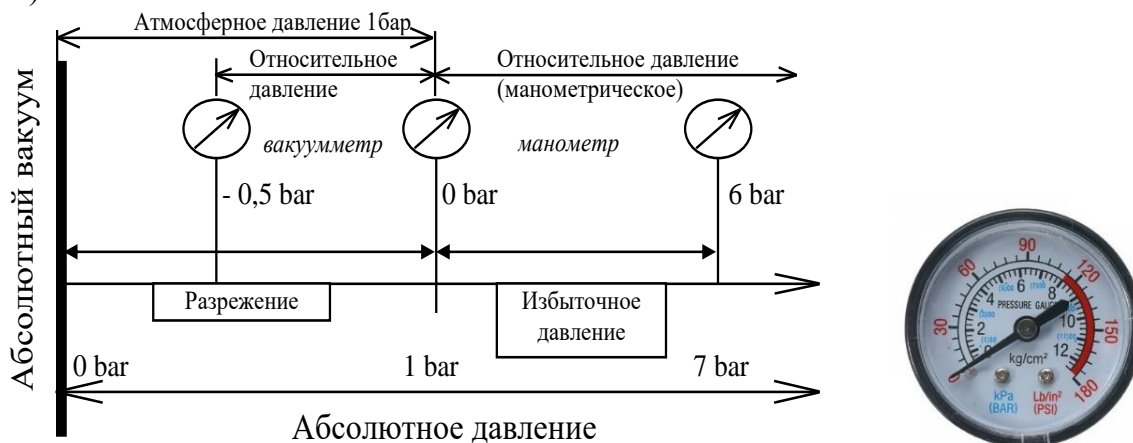


Рисунок 1.1.3 – Взаимосвязь давлений используемых в пневматических системах

В таблице 1.1.1 представлено соотношение различных единиц измерения давления.

Таблица 1.1.1 – Таблица перевода единиц давления

Единицы давления							
	Паскаль (Pa, Па)	Бар (bar, бар)	Техническая атмосфера (at, ат)	Физическая атмосфера (atm, атм)	Миллиметр ртутного столба (мм рт.ст., mmHg, torr, torr)	Метр водя- ного столба (м вод. ст.,m H ₂ O)	Фунт-сила на кв. дюйм (psi)
1 Па	1 $\frac{H}{M^2}$	10^{-5}	$10,197 \times 10^{-6}$	$9,8692 \times 10^{-6}$	$7,5006 \times 10^{-3}$	$1,0197 \times 10^{-4}$	$145,04 \times 10^{-6}$
1 бар	10^5	$1 \times 10^6 \frac{дин}{см^2}$	1,0197	0,98692	750,06	10,197	14,504
1 ат	98066,5	0,980665	1 $\frac{кгс}{см^2}$	0,96784	735,56	10	14,223
1 атм	101325	1,01325	1,033	1 атм	760	10,33	14,696
1 мм рт.ст.	133,322	$1,3332 \times 10^{-3}$	$1,3595 \times 10^{-3}$	$1,3158 \times 10^{-3}$	1 мм рт.ст.	$13,595 \times 10^{-3}$	$19,337 \times 10^{-3}$
1 м вод. ст.	9806,65	$9,80665 \times 10^{-2}$	0,1	0,096784	73,556	1 м вод. ст.	1,4223
1 psi	6894,76	$68,948 \times 10^{-3}$	$70,307 \times 10^{-3}$	$68,046 \times 10^{-3}$	51,715	0,70307	1 lbf/in ²

Согласно закону Дальтона, давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений, входящих в нее газов. Парциальное давление – давление, которое производил бы газ, если бы один занимал весь объем, равный объему смеси.

Например, парциальное давление кислорода при давлении воздуха 1 бар равно 0,21 бар.

Газовые законы

Газовые законы рассматривают применительно к изменению количества газа (рисунок 1.1.4).

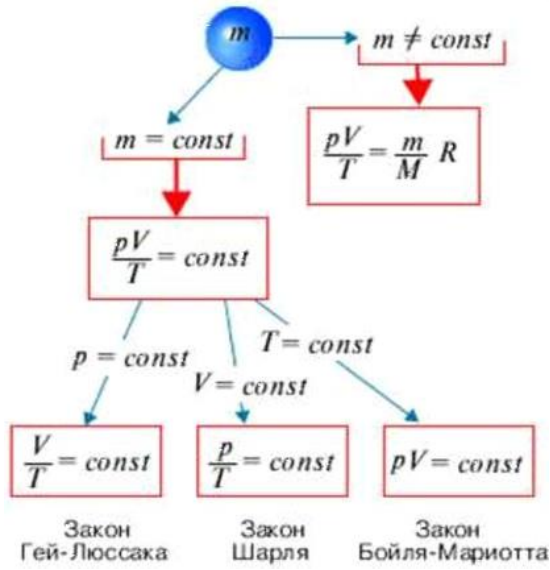


Рисунок 1.1.4 – Основные газовые законы

Уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \frac{m}{M} RT$$

где P – давление газа;

V – объем газа;

m – масса газа;

M – молярная масса газа;

R – универсальная газовая постоянная ($R=8,31$ Дж/(моль·К));

T – абсолютная температура газа.

Изопроцессы, протекающие в газах иллюстрирует рисунок 1.1.5.

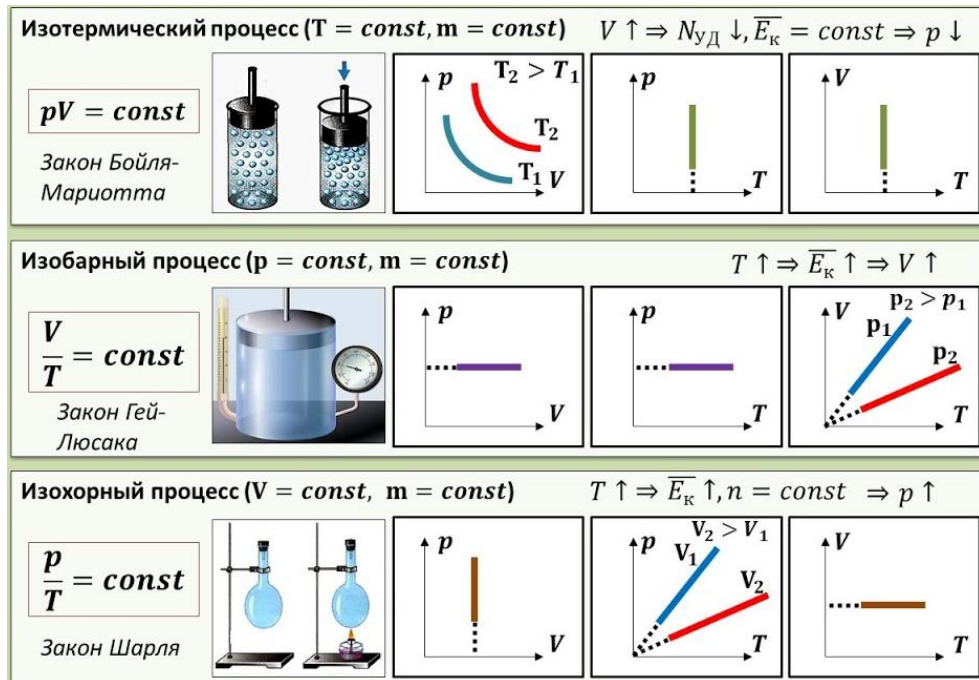


Рисунок 1.1.5 – Изопроцессы протекающие в газах

Изохорный процесс

Закон Шарля можно записать как: $p = p_0 \cdot \gamma \cdot T$

где p_0 – давление газа при температуре $T=273$ К;

γ – температурный коэффициент давления (равный температурному коэффициенту объемного расширения газа $\gamma = 1/273$ К⁻¹).

Из закона Шарля следует, что отношение давлений данной массы газа при постоянном объеме равно отношению его абсолютных температур (рис. 1.1.6).

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{T_0}{T_1}$$

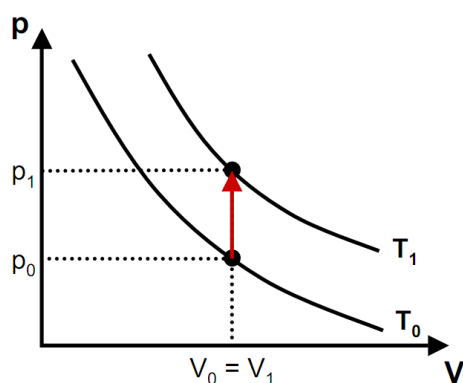


Рисунок 1.1.6 – Иллюстрация изохорного процесса

Изобарный процесс

Для изобарного процесса отношение объемов данной массы газа при постоянном давлении равно отношению его абсолютных температур (рис. 1.1.7).

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{T_0}{T_1}$$

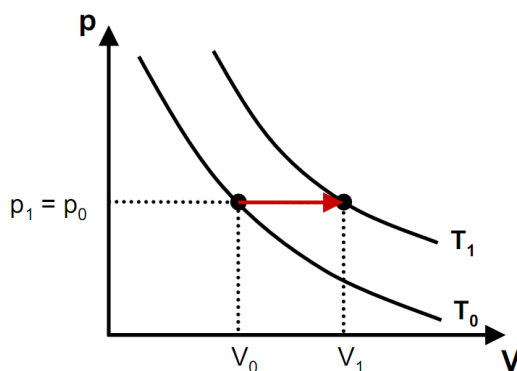


Рисунок 1.1.7 – Иллюстрация изохорного процесса

Изоэнтروпийный (изоэнтропный) процесс

Адиабатный процесс – процесс, протекающий без подвода или отвода теплоты, т.е. при отсутствии теплообмена рабочего тела с окружающей средой. Кривая этого процесса называется адиабатой. Адиабата в координатах P-V идет круче изотермы (рис. 1.1.8), так как $k > 1$ (для воздуха $k=1,4$).

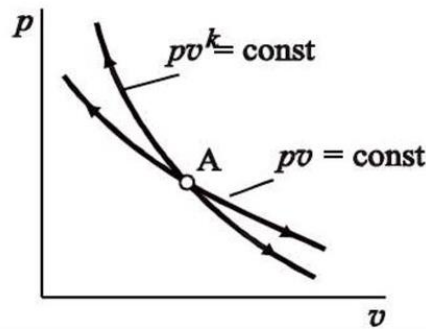


Рисунок 1.1.8 – Изотерма и адиабата

Для адиабатного процесса можно записать следующие соотношения:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^k; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$$

Политропный процесс

Политропный процесс – общий случай всех перечисленных выше процессов

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1}$$

где n – показатель политропы;

$n = 0$ – изобарный процесс;

$n = 1$ – изотермический процесс;

$n = k$ – изэнтропийный (адиабатный) процесс;

$n = \infty$ – изохорный процесс.

Идеальный газ не превращается в жидкость или в твердое тело, а реальные газы испытывают такие превращения. Причина фазовых превращений – взаимодействие между молекулами. Для реальных газов изотермы теоретически вычисляются из уравнения Ван-дер-Ваальса, практические изотермы носят название изотерм Эндрюса.

Сухой и влажный воздух. Процессы конденсации влаги при работе пневмосистем.

Когда воздух содержит максимальное количество водяного пара, что соответствует гигрометрической степени 1, и он достигает 100% насыщения – это называется – точка росы.

При изменении состояния воздуха, влага, содержащаяся в нем в виде пара может конденсироваться, поэтому для получения сжатого воздуха необходимых параметров необходимо наличие устройств, позволяющих удалять влагу, а также необходимо уметь рассчитывать параметры данного процесса.

Относительная влажность:

$$\%Вл = \frac{Вф}{Вн} \cdot 100$$

$Вф$ – фактическое содержание воды в воздухе; $Вн$ – содержание воды в состоянии насыщения;

Для любого значения абсолютной влажности воздуха есть соответствующее значение температуры – точка росы, при которой, наступает максимальное насыщение воздуха влагой (относительная влажность достигает 100%).

Или любое значение температуры воздуха становится точкой росы, в тот момент, когда абсолютная влажность воздуха поднимается до предельных для этой температуры значений (относительная влажность достигает 100%).

В указанные моменты воздух уже не способен удерживать в себе воду в газообразной форме и «лишние» водяные пары выпадают в жидкой фазе прямо в воздухе (туман) или на холодные поверхности, окружающие воздух, в виде конденсата (росы).

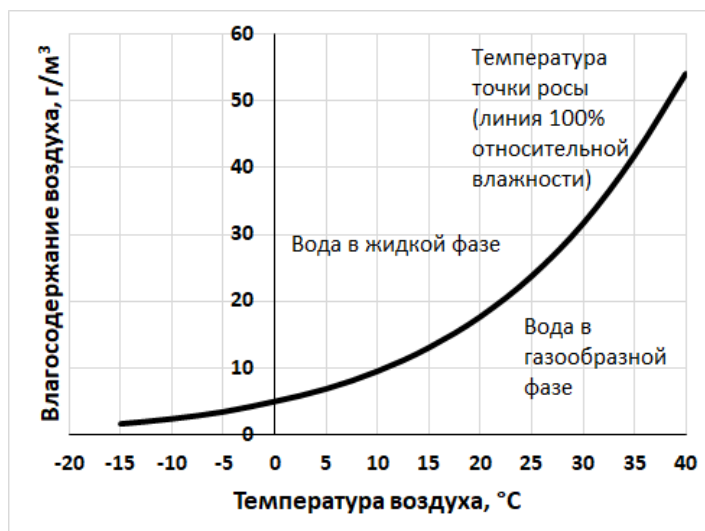


Рисунок 1.1.9 – Зависимость влагосодержания воздуха от температуры

Пример 1: Температура воздуха 25 °С, относительная влажность 65%. Сколько воды содержится в 1 м³ воздуха?

Из табл. 1.1.2 определяем максимальное количество влаги при 25 °С (содержание воды в состоянии насыщения). $V_n = 23,76 \text{ г/м}^3$ при $t=25 \text{ °С}$. Тогда $V_\phi = 23,76 \cdot 0,65 = 15,44 \text{ г/м}^3$.

Таблица 1.1.2 – Максимальное содержание влаги в воздухе в виде пара при различных температурах

Температура, °С	-15	-10	-5	0	5	10
Влагосодержание, г/м³	1,61	2,37	3,42	4,98	6,86	9,51
Температура, °С	15	20	25	30	35	40
Влагосодержание, г/м³	13,04	17,69	23,76	31,64	41,83	54,11

Пример 2: Воздух с температурой 15 °С и относительной влажностью 65% объемом 10 м³ сжимается до манометрического давления 6 бар. Допустимое повышение температуры ограничено значением 25 °С (т.е. если температура выше, то воздух охлаждается до 25 °С). Сколько воды сконденсируется?

Из таблицы определяем, что при исходной температуре в воздухе может содержаться максимально 13,04 г/м³. При относительной влажности 65 % в 10 м³ содержится $13,04 \cdot 0,65 \cdot 10 = 84,9$ г влаги. Объем сжатого воздуха при давлении 6 бар будет равен $V_2 = V_1 \cdot p_1 / p_2 = 10 \cdot 1,013 / (6 + 1,013) = 1,44 \text{ м}^3$.

При 25 °С воздух максимально содержит 23,76 г/м³, тогда в сжатом воздухе максимально может содержаться $1,44 \cdot 23,76 = 34,2$ г влаги. Количество конденсата равняется разности между общим количеством воды, содержащимся в атмосферном воздухе и количеством воды, которое может содержать сжатый воздух при указанной температуре. Тогда $84,9 - 34,2 = 50,6$ г воды выпадет в виде конденсата.

Расход, коэффициенты, характеризующие расход

Расход Q – это объём вещества, проходящего через поперечное сечение потока за единицу времени.

$$Q = V / t$$

Используя единицы, принятые в международной системе единиц (СИ) для объема (m^3) и времени (с) получаем единицу измерения расхода m^3/c . Для большинства практических применений наиболее употребительной единицей измерения расхода является л/мин, также широко применяется единица $m^3/ч$.

Так как при сжатии воздуха его объём уменьшается при одновременном увеличении давления, то необходимо различать разные виды расхода.

Относительный расход (Q_r) выражается в л/мин по отношению к манометрическому давлению, например, 100 л/мин при 6 bar.

Абсолютный расход (Q_a) приведённый к атмосферному давлению – расход, выражаемый в нормальных (A.N.R.) литрах в минуту или норма литров в минуту.

A – Атмосферное, N – Нормальное, R – Отношение

Абсолютный расход при неизменной температуре газа связан с относительным выражением

$$Q_a = Q_r \cdot (P_r + 1,013)$$

Например 100 л/мин при 6 bar представляют: $100 \cdot (6 + 1,013) = 701,3$ нл/мин (нормальных литров в минуту).

Пропускная способность пневмоэлементов. Связь между давлением и расходом.

В статике при отсутствии расхода, когда рабочая среда неподвижна, давление в любой точке системы одинаково. При перемещении среды давление по длине пневмолиний изменяется, и эта разница давлений называется «*перепадом давления*».

Перепад давления зависит от первоначального давления, расхода и сопротивления потоку со стороны трубопровода или пневмоэлемента через который протекает воздух.

В пневматике используется величина которая называется пропускной способностью, однако она может выражаться в различном виде в качестве которых выступают:

- эквивалентное сечение S ;
- коэффициенты k_v и C_v ;
- другие менее распространенные параметры.

Эквивалентное сечение S представляет собой площадь отверстия в тонкой пластинке (диафрагме), создающего такое же соотношение между давлением и расходом, как и элемент пневматической системы, характеристикой которого оно является и выражается в mm^2 .

На рисунке 1.1.10 представлена диаграмма иллюстрирующая соотношение между давлением и расходом для диафрагмы с эквивалентным сечением, равным $1 mm^2$.

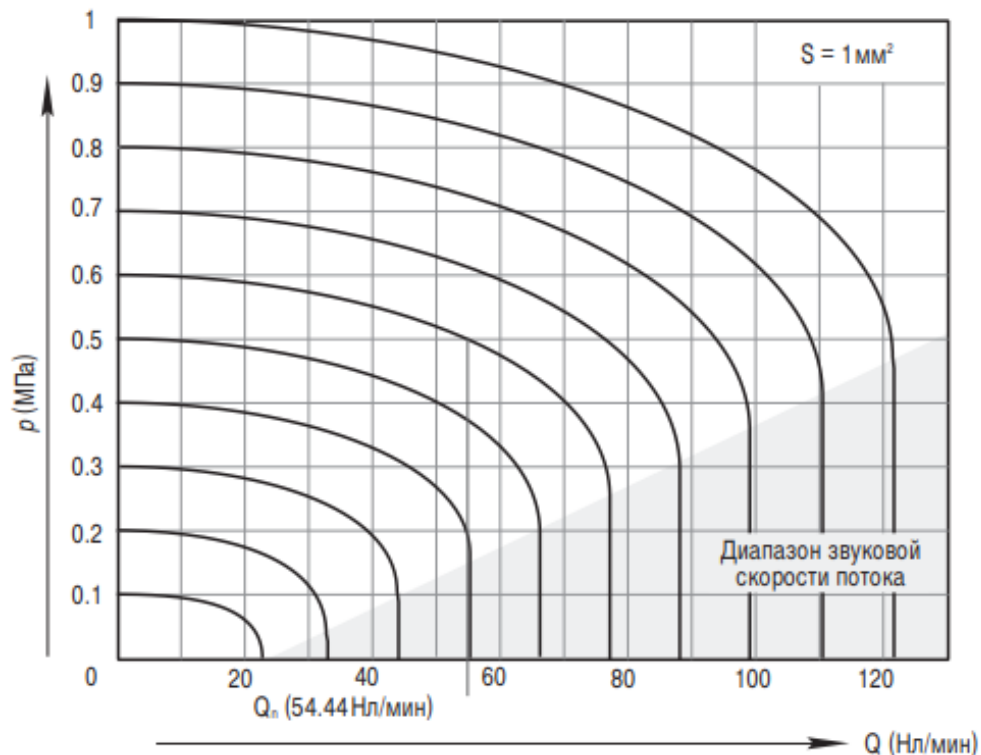


Рисунок 1.1.10 – Соотношение между давлением и расходом для диафрагмы с эквивалентным сечением, равным 1 мм².

Диапазон звуковой скорости потока представлен на диаграмме затененной зоной. При достижении скорости потока воздуха величины равной скорости звука, ее дальнейшее увеличение становится невозможным, даже при изменении разности давлений на входе и выходе. В пределах этого треугольника все кривые уходят вертикально вниз. Это означает, что величина расхода больше не зависит от перепада давления, а зависит только от величины входного давления.

Пример 1: Давление на входе составляет 6 бар. При падении давления на один бар выходное давление составит 5 бар. Определить величину расхода при заданных условиях.

Двигаясь по кривой соответствующей давлению 6 бар (0,6 МПа) доходим до точки ее пересечения с горизонтальной линией, соответствующей давлению 5 бар. От этой точки проводим вертикальную линию до пересечения со шкалой расхода и определяем его величину (55,44 нл/мин) которая указана на рис. 1.1.10. Этот объемный расход характеризует элемент пневматического оборудования (труба, клапан и т.п.) с эквивалентным сечением S , равным 1 мм². Если, например, величина S составляет 14 мм², расход будет в 14 раз выше и составит $14 \cdot 55,44$ нл/мин = 762 нл/мин. Данный нормальный объемный расход и указывают в каталогах как характеристику пропускной способности пневмоэлементов.

Пример 2: Имеется пневмоэлемент с эквивалентным сечением $S = 12$ мм², рабочим давлением 7 бар и расходом воздуха 600 нл/мин. Каким будет давление на выходе?

Расход 600 нл/мин через отверстие диафрагмы сечением $S = 12$ мм² соответствует расходу $600/12=50$ нл/мин при эквивалентном сечении отверстия диафрагмы равном 1 мм². После данного преобразования можно воспользоваться графиком (рис.1.1.10). Проведя вертикальную линию от значения расхода 50 нл/мин на шкале расхода до пересечения с кривой соответствующей давлению 7 бар, находим на оси p значение 0,5 МПа.

ющей давлению 7 бар, получим точку пересечения из которой проведем горизонтальную линию до пересечения со шкалой давления. На шкале давления получим величину равную 6,3 бар.

В примере 1 использовано точное значение расхода равное 54,44 нл/мин, полученное при расчете по формуле.

Таким образом, если требуется определить более точное значение, чем то, которое мы можем получить по графику, то расход определяют по формулам.

Исходя из двух диапазонов дозвуковой и звуковой скорости потока, формулы для определения расхода различаются.

Переход от дозвуковой к звуковой скорости происходит в момент, когда отношение абсолютного давления на входе к абсолютному давлению на выходе окажется равным величине 1,896.

Дозвуковая скорость потока обеспечивается при условии:

$$p_1 + 1,013 < 1,896 \cdot (p_2 + 1,013)$$

Расход Q для диапазона дозвуковой скорости потока рассчитывается по формуле:

$$Q = 22,2 \cdot S \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot (p_1 - p_2)}$$

Звуковая скорость потока обеспечивается при условии: $p_1 + 1,013 \geq 1,896 \cdot (p_2 + 1,013)$

Расход Q для диапазона звуковой скорости потока рассчитывается по формуле:

$$Q = 11,1 \cdot S \cdot (p_1 + 1,013)$$

Эквивалентное сечение потока S выражается в мм^2 , а давление в барах.

При звуковой скорости потока пневматические системы не обеспечивают необходимой величины рабочего давления, так как при давлении питания 7 бар рабочее давление составит не более 3 бар, а при давлении питания 5 бар рабочее давление составит не более 2 бар.

Размеры присоединительных отверстий пневмоаппаратов в целом не характеризуют их пропускную способность. Выбор пневмоаппарата с нужными параметрами будет зависеть от необходимой величины расхода и допустимого перепада давлений на пневмоаппарате. Как было отмечено ранее, в документации производителей содержатся сведения, характеризующие пропускную способность пневмоаппаратов различными способами.

Расход через клапан

Есть целый ряд стандартов и методов для измерения расхода при различных условиях. Это может привести к путанице и трудностям при сравнении опубликованных данных различных клапанов. Но могут быть использованы определенные принципы и коэффициенты пересчета.

Пропускная способность обычно выражается величиной номинального объемного расхода Q_n в нл/мин, полученных при давлении на входе в пневмоаппарат равном 6 бар и давлении на выходе 5 бар.

Также в качестве такого параметра широко применяют:

Коэффициент k_v , представляющий собой расход [л/мин] воды, пропускаемый распределителем (или другим устройством) при перепаде давления на нем 1 кгс/см^2 . $k_v=1$ при пропускной способности воды равной 1 л/мин при перепаде давлений 1 кгс/см^2 и температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$. (K_v в отличие от k_v задается в $\text{м}^3/\text{ч}$).

Коэффициент C_v , представляющий собой расход воды в американских или английских галлонах за одну минуту при перепаде давления в 1 psi (фунт-сила на квадратный дюйм) при 60°F .

Эквивалентное сечение S величина равная площади отверстия в диафрагме, создающее тоже соотношение между давлением и расходом, что и исследуемый пневмоэлемент (мм^2) и которое было рассмотрено выше.

Также может использоваться **коэффициент C** («звуковая проводимость») равный $C=S/5$.

Для расчета расхода воздуха при использовании данных характеристик с учетом различных температур используют следующие выражения:

$$Q = 400 \cdot C_v \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot \Delta p} \cdot \sqrt{\frac{273}{273 + t}}$$

$$Q = 27,94 \cdot k_v \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot \Delta p} \cdot \sqrt{\frac{273}{273 + t}}$$

$$Q = 22,2 \cdot S \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot \Delta p} \cdot \sqrt{\frac{273}{273 + t}}$$

где Q – величина расхода в нл/мин;

C_v , k_v и S – коэффициенты, характеризующие пропускную способность (S в мм^2);

p_2 – выходное давление, бар;

Δp – перепад давления между входом и выходом пневмоаппарата, бар;

t – температура воздуха $^{\circ}\text{C}$.

Определение коэффициента k_v иллюстрирует рисунок 1.1.11.

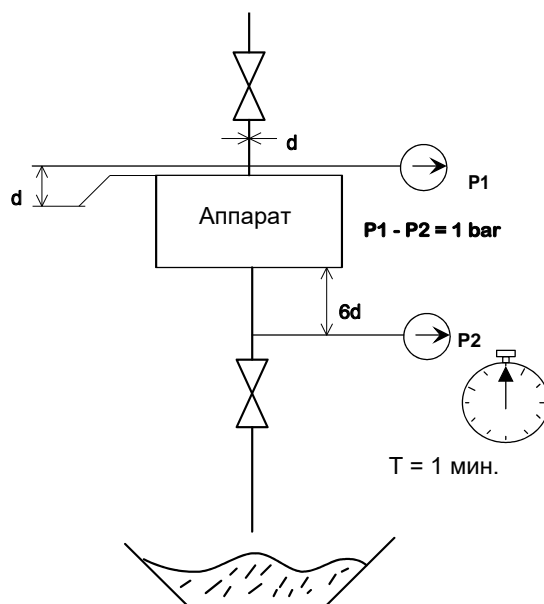


Рисунок 1.1.11 – Определение пропускной способности пневмоаппарата k_v

Для определения пропускной способности преобразуем формулы следующим образом:

$$C_v = \frac{Q}{400 \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot \Delta p}}$$

$$k_v = \frac{Q}{27,94 \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot \Delta p}}$$

$$S = \frac{Q}{22,2 \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot \Delta p}}$$

Задаваясь условиями для определения Q_n ($p_2=5$ бар, $\Delta p=1$ бар), можно получить коэффициенты связывающие различные способы задания пропускной способности.

В таблице 1.1.3 представлены значения для пересчета параметров пропускной способности заданных различными стандартами.

Таблица 1.1.3 – Таблица пересчета пропускной способности пневмоэлементов

	Фактор		Расход*	Пропускное отверстие	
	Cv	Kv		A	S
Cv	1	0,869	985	16,3	21,5
Kv	1,15	1	1132	18,7	24,7
C	0,245	0,213	241	4,11	5,27
l/min	0,001	0,0088	1	0,016	0,022
A	0,061	0,053	60,4	1	1,31
S	0,046	0,040	45,8	0,761	1

Для использования таблицы пересчета необходимо выбрать единицу измерения в колонке слева и умножить на коэффициент из таблицы для преобразования в необходимую единицу измерения.

"A" эффективная площадь, мм², описывается стандартом ISO 6358
 "S" эффективная площадь, мм², согласно стандарту JIS B 8375

Уравнение Бернулли для газов

Закон сохранения механической энергии для несжимаемой жидкости выражается уравнением Бернулли

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = const$$

Данное выражение удобно для гидравлических расчетов, в которых значительную роль играет геометрический напор жидкости z . Для газов при небольших перепадах давлений в которых можно пренебречь их сжимаемостью и вводя средний удельный вес газа уравнение Бернулли можно записать

$$\rho \cdot g \cdot z + p + \frac{\rho \cdot v^2}{2} = const$$

Уравнение Бернулли для потока идеального газа при адиабатном процессе:

$$g \cdot z_1 + \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} = g \cdot z_2 + \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2}$$

где k – показатель адиабаты

Уравнение Бернулли для потока реального газа при адиабатном процессе:

$$g \cdot z_1 + \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2} = g \cdot z_2 + \frac{k}{k-1} \cdot \frac{p_2}{\rho_2} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2} + g \cdot \Delta E$$

где α_1 и α_2 – безразмерный коэффициент Кориолиса;

ΔE – потери удельной энергии.

Явление снижения давления при сужении потока широко используется в пневматических устройствах, например, в маслораспылителях или в пневматических захватах.

Дросселирование газов

Дросселирование – это процесс уменьшения давления, в котором нет ни увеличения кинетической энергии, ни совершения технической работы. Дросселирование происходит если на пути движения газа или пара в канале встречается препятствие (местное сопротивление), уменьшающее поперечное сечение потока. Давление за препятствием при этом всегда меньше, чем перед ним. Для реального газа энтальпия i при дросселировании не изменяется (рис.1.1.12), энтропия и объем возрастают, а температура может понижаться, повышаться или оставаться неизменной в зависимости от соотношения параметров a и b в формуле Ван-дер-Ваальса.

Изменение температуры при прохождении газа через дроссель называется эффектом Джоуля-Томсона. Эффект считается положительным если газ охлаждается и отрицательным если газ нагревается.

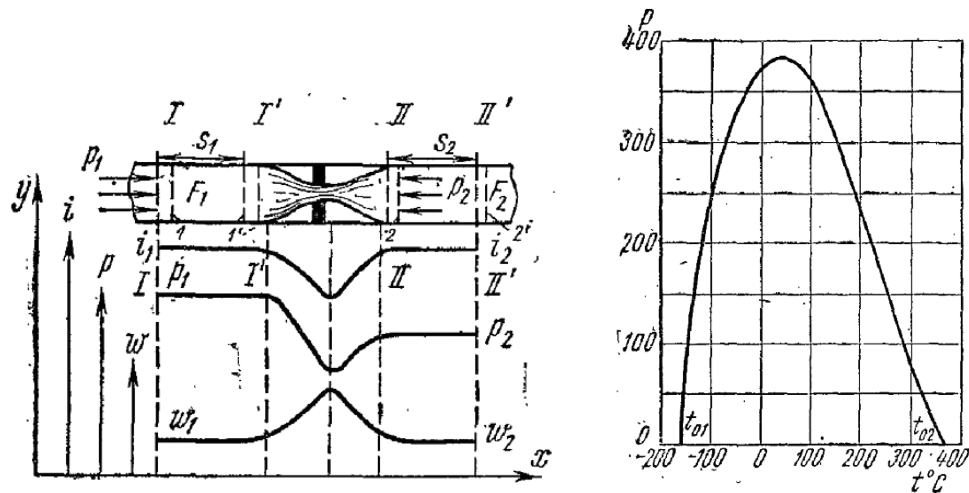


Рисунок 1.1.12 – Иллюстрация процесса дросселирования газа (а) и кривая инверсии температур для азота (б)

Все процессы дросселирования, начинающиеся внутри инверсионной кривой, сопровождаются охлаждением газа, а вне кривой протекают с нагреванием газа (рис.1.1.12б).

Обычно температура инверсии значительно выше комнатной, поэтому практически все газы в этом процессе охлаждаются. У водорода и гелия температура инверсии низкая, поэтому эти газы при дросселировании нагреваются.

Истечение газов из резервуаров.

Истечение газа из неограниченного объема

При изэнтропном движении газа при истечении из неограниченного объема (начальная скорость равна нулю) массовый расход определяется по формуле

$$G_m = \mu \cdot f \cdot p_1 \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$$

где μ – коэффициент расхода;

f – площадь сечения сопла или канала;

p_1 и p_2 – давление газа в неограниченном объеме и в выходном сечении канала из которого происходит истечение соответственно;

k – показатель адиабаты;

R – удельная газовая постоянная;

T_1 – абсолютная температура газа, содержащегося в неограниченном объеме

Коэффициент расхода μ это отношение действительного расхода воздуха к теоретическому, за который обычно принимается расход газа при изоэнтропном процессе истечения при том же отношении давлений.

При определенном отношении давлений, называемом критическим, расход достигает максимального значения.

$$\left(\frac{p_{2кр}}{p_1}\right) = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad \text{При } k=1,4 \text{ (воздух)} \quad \left(\frac{p_{2кр}}{p_1}\right) \approx 0,528$$

При истечении газа из сопел при отношении давлений, меньшем, чем критическое расход определяют по формуле 1.17 (докритический режим). При отношении давлений больше критического (критический или трансзвуковой режим) расход определяют по формуле

$$G_m^* = \mu \cdot f \cdot p_1 \sqrt{\frac{k}{RT_1} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

Для воздуха при задании величин в СИ получим

$$G_m^* = \frac{0,0404 \cdot \mu \cdot f \cdot p_1}{\sqrt{T_1}}$$

Основные требования безопасности при использовании пневмосистем

Основные требования безопасности при использовании пневмосистем представлены в следующих стандартах:

EN 983:1996 ГОСТ Р 52869–2007 ПНЕВМОПРИВОДЫ Требования безопасности (Safety of machinery – Safety requirements for fluid power systems and their components – Pneumatics (MOD)).

ГОСТ 30869–2003 Безопасность оборудования. Требования безопасности к гидравлическим и пневматическим системам и их компонентам. Пневматика.

Перечень опасностей, возникающих при работе пневмоприводов, пневмосистем и входящих в их состав пневмоустройств

При использовании пневмоприводов, пневмосистем и входящих в их состав пневмоустройств в различного рода машинах (агрегатах) возникают факторы и опасности, влияющие на безопасность этих эксплуатируемых машин (агрегатов) и установленные указанным выше стандартом и ГОСТ 30869.

При работе пневмоприводов, пневмосистем и входящих в их состав пневмоустройств могут возникать опасности, представляющие собой:

1) Механические опасности, возникающие из-за:

- недостаточной механической прочности конструкции пневмоустройств вследствие превышения максимального давления рабочей среды;

- воздействия внешних механических факторов - вибрации, ударов и линейных ускорений в местах крепления пневмоустройств;

- накопленной энергии в упругих элементах (пружинах) или рабочих газах под давлением или в вакууме;

- кинетической или потенциальной энергии при контролируемом и неконтролируемом движении и удержании поднятого пневмоприводом груза и потери устойчивости удерживающих его устройств;

- недостаточного или исчерпанного ресурса и надежности пневмопривода, пневмосистемы и входящих в их состав пневмоустройств;

- выброса рабочей среды под высоким давлением.

2) Опасности, возникающие в результате нарушения в энергоснабжении пневмопривода, пневмосистемы или управляющих устройств, вызывающие колебательные процессы в работе пневмопривода или пневмосистемы, невыполнение остановочной (аварийной) команды и неполное срабатывание защитных устройств, поражение электрическим током обслуживающего персонала.

3) Термические опасности, возникающие:

- при нарушении герметичности соединений с утечкой рабочей среды наружу и проявляющиеся в виде ожогов вследствие соприкосновения с пламенем или нагретыми или переохлажденными рабочей средой поверхностями устройств;

- при воспламенении или взрыве рабочей среды и с поражением органов человека вследствие контакта и (или) при вдыхании рабочих газов (рабочей среды);

- при излучении от тепловых источников;

- в связи с недостаточностью компенсации изменения объема рабочей среды при изменении ее температуры, приводящей к разрушению оболочки и нарушению герметичности пневмопривода.

4) Шумовые (акустические) и вибрационные воздействия, создаваемые работающими пневмоприводом, пневмосистемой или пневмоустройством.

5) Опасности, возникающие на специализированных пневмоприводах и пневмосистемах машин (агрегатов), имеющих в своем составе ионизированные или неионизированные источники излучения.

6) Опасности, возникающие в связи с неожиданным выбросом деталей, удерживаемых машиной, или из разрушающихся машин и узлов или выбросом отработанных газов, способных привести к нарушениям работы пневмоприводов (пневмосистем) и ухудшению состояния окружающей среды (воздуха) и возникновению опасностей.

7) Опасности, вызываемые возникающими неисправностями в пневмоустройствах, пневмосистеме и пневмоприводе с последующим ненормальным функционированием с нарушением параметров, остановом или разгоном рабочих органов и элементов пневмопривода, пневмосистемы или входящих в их состав пневмоустройств.

8) Опасности, связанные с несрабатыванием или неправильным расположением средств защиты, пусковых или тормозных устройств.

9) Опасности, связанные с необеспечением правильного монтажа, безопасной наладки и технического обслуживания, способствующих снижению безопасности пневмопривода, пневмосистемы или входящих в их состав пневмоустройств.

10) Опасности поражения электрическим током вследствие нарушения в изоляции токоведущих цепей.

11) Опасности, вызванные неправильной установкой аварийных символов и сигналов, различных информационных или предупреждающих и аварийных устройств и нарушающие безопасность работы в случае возможного возникновения особо опасных факторов.

12) Опасности из-за непреднамеренных действий персонала, обслуживающего пневмопривод (пневмосистему), или вследствие недостаточной проработки и размещения пневмоустройств, что способно привести к опасным состояниям машины (агрегата) и окружающей среды от выброса рабочей среды.

13) Опасности, вызываемые неисправностью или неправильным функционированием системы управления пневмоприводом (пневмосистемой), выражающиеся в неожиданном пуске или продолжении работы машины и приводящие к опасным ситуациям в работе машины (агрегата).

14) Пожаро- и взрывоопасность пневмоприводов (пневмосистем).

15) Экологические опасности, вызванные выбросом рабочих газов (рабочей среды) в окружающую среду.

Общие требования безопасности пневмоприводов, пневмосистем и входящих в их состав пневмоустройств и мероприятия по их обеспечению

Пневмоприводы, пневмосистемы и входящие в их состав пневмоустройства должны соответствовать требованиям безопасности, установленным настоящим стандартом и ГОСТ 12.2.003.

При проектировании пневмоприводов, пневмосистем и входящих в их состав пневмоустройств и их эксплуатации должны быть учтены все предполагаемые режимы работы и случаи возможного их применения и проведена оценка опасных ситуаций. Если это осуществимо, то установленные при анализе опасные ситуации должны быть исключены при проектировании. Если это не снижает степени риска, то должны быть применены защитные устройства против этих опасных ситуаций.

Пневмоприводы, пневмосистемы и входящие в их состав пневмоустройства для предотвращения воздействия опасных и вредных производственных факторов, способных возникнуть в процессе эксплуатации, должны быть снабжены:

- устройствами, предотвращающими превышение значений давления рабочей среды, установленных в технической документации, или обеспечивающими установку средств контроля, не усугубляющими опасности превышения давления;

- на выхлопе устройствами очистки рабочей среды от загрязнителей и задержания масляных аэрозолей, если их концентрация в воздухе рабочей зоны превышает предельно допустимые значения по ГОСТ 12.1.005;

- устройствами, снижающими уровень шума и вибраций и препятствующими их распространению;

- устройствами, предотвращающими развитие опасных ситуаций (или оговорены варианты резервирования пневмоустройств, если развитие таких ситуаций опасно для жизни людей или окружающей среды);

- устройствами, предотвращающими возможность травмирования обслуживающего персонала при эксплуатации пневмоприводов, пневмосистем и входящих в их состав пневмоустройств.

Тема 1.2 Структура пневматической системы. Достоинства и недостатки пневмосистем

Практически любая пневматическая система может быть разделена на три основных подсистемы: энергообеспечивающую, направляющую и регулирующую, а также исполнительную (рисунок 1.2.1). Некоторые пневматические системы (например, пневмотранспортные системы) имеют свои специфические особенности в структуре и в конструкциях элементов, однако в целом в них также можно выделить основные подсистемы, указанные выше.

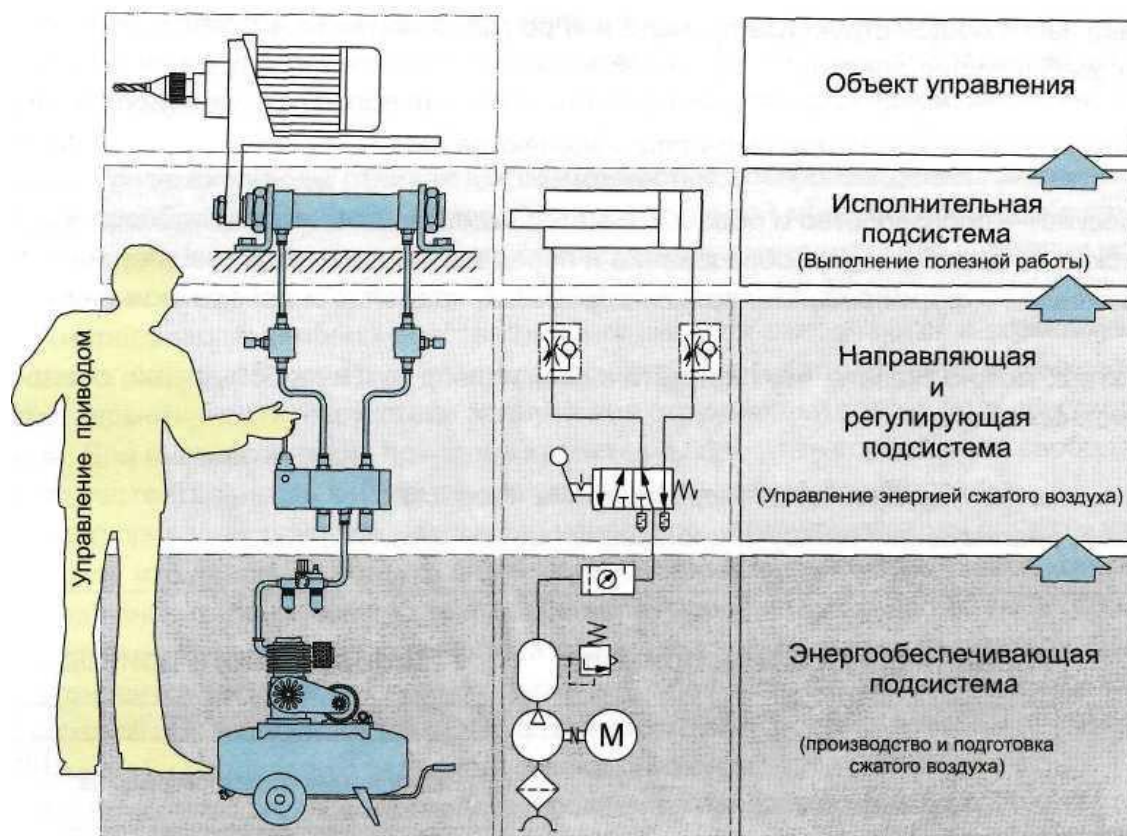


Рисунок 1.2.1 – Основные подсистемы пневматической системы

Целесообразность использования сжатого воздуха обуславливается многими причинами.

Пневматические устройства:

- имеют малый вес, размер и высокую мощность;
- обладают большим потенциалом начальной энергии;
- не требовательны в уходе и обслуживании;
- имеют простую конструкцию, что позволяет легко производить ремонт;
- надёжны и безопасны в условиях высокого уровня пылеобразования.

При сравнении пневмоавтоматики, гидроавтоматики и электроавтоматики между собой можно отметить:

Линейная сила в пневмоавтоматике ограничена более низким давлением питания чем в гидроавтоматике, в свою очередь в электроавтоматике силы меньше, отсутствует защита от перегрузок и имеется высокое потребление энергии в режиме холостого хода. Для пневмоавтоматики для линейного движения характерны простота изготовления, высокие ускорения и скорость, для гидроавтоматики характерны простота изготовления и хорошая регулируемость, для электроавтоматики требуются преобразователи вращательного движения в линейное или использование электромагнитов для небольших линейных перемещений.

Вращательное движение для пневмоавтоматики характеризуется относительно низким КПД и возможностью изготовления пневмомоторов с высоким числом оборотов, гидромоторы

имеют хороший КПД и более низкое число оборотов чем у пневмомоторов, в свою очередь электромоторы имеют лучший КПД для приводов вращательного действия и ограниченное число оборотов.

Пневмоавтоматика способна аккумулировать энергию в виде воздуха под давлением, транспортировку по трубам до 1000 м, в гидроавтоматике возможно аккумулирование энергии с помощью промежуточной газовой среды или пружины, а транспортировка среды по трубопроводам до 100 м. Для пневмоавтоматики характерна высокая стоимость энергии в сравнении с электроавтоматикой. Для пневмоавтоматики и гидроавтоматики характерна нечувствительность к перегрузкам в отличие от электроавтоматики, где данное свойство достигается за счет больших затрат.

Построение сложных управляющих схем на пневматике нормального давления сопряжено со снижением быстродействия за счет более низкой скорости передачи пневматических сигналов, чем при использовании электроники.

Достоинства и недостатки пневмосистем

Основные преимущества пневматических систем заключаются в следующем:

1) *Простота конструкции, изготовления и технического обслуживания.* Изготовление пневматических деталей обычно не требует высокой точности, как, например, в гидроприводе. Нет необходимости обеспечивать высокую герметизацию, т.к. возможные утечки воздуха мало влияют на эффективность работы и КПД всей системы. Кроме того, утечки воздуха экологически безвредны.

2) *Пожаро- и взрывобезопасность.* Пневмопривод не имеет конкурентов для механизации работ в условиях повышенной пожаро- и взрывоопасности: например, в шахтах, на мукомольных предприятиях и других производствах, где недопустимо искрообразование. Для пневматических исполнительных устройств отсутствует также опасность перегрева. Применение гидропривода в этих условиях возможно только при передаче гидроэнергии на относительно большое расстояние, что часто экономически нецелесообразно.

3) *Нечувствительность к радиации и электромагнитным излучениям.* Пневматические системы надежно работают в условиях радиации и при электромагнитных излучениях. Поэтому они широко используются в атомных реакторах, в системах управления космической и военной техникой и т.п. Электрогидравлические системы в таких условиях практически непригодны.

4) *Высокая надежность.* В отличие от гидро- и электропривода пневматический привод отличается высокой надежностью работы в условиях широкого диапазона температур, в условиях пыльной и влажной окружающей среды. Поэтому, например, пневмопривод является единственным надежным устройством для механизации работ в литейном и сварочном производстве, в кузнечно-прессовых цехах, в некоторых производствах по добыче и переработке сырья и др. Благодаря высокой надежности пневмопривод также часто используется в тормозных системах машин.

5) *Большой срок службы.* В пневматических устройствах циклического действия ресурс составляет от 5 до 20 млн. циклов. Для устройств нециклического действия - около 10 - 20 тыс. часов. Это в 2 - 4 раза больше, чем у гидропривода, и в 10 - 20 раз больше, чем у электропривода.

6) *Большие скорости.* Скорость движения штока пневмоцилиндра может составлять 15 м/с и более, а частота вращения выходного вала некоторых пневмомоторов (пневмотурбин) – до 100000 об/мин. Такие большие скорости вращательного движения используются в приводах шлифовальных машин, бормашин, сепараторов, центрифуг и др. Получение больших скоростей в гидроприводе и электроприводе ограничивается их большей инерционностью и отсутствием демпфирующего эффекта, которым обладает воздух.

7) *Экономичность.* По сравнению с гидравлическими системами в пневмосистемах используется централизованная сеть сжатого воздуха, поэтому не требуется дорогостоящей

насосной установки, нет необходимости иметь возвратные линии, так как отработанный воздух выбрасывается непосредственно у мест его потребления.

8) *Экологическая чистота.* Пневматическое оборудование само по себе является экологически «чистым», а при надлежащей очистке отработанного воздуха оно может использоваться даже в помещениях с повышенными требованиями по чистоте. Поэтому пневмосистемы широко применяются в полиграфии, легкой и пищевой промышленности.

9) *Безопасность.* В гидро- и электроприводах возможно поражение электрическим током при нарушении изоляции, а также жидкостью в случае разгерметизации трубопроводов.

К основным недостаткам пневмосистем относятся:

1) Сложность реализации заданных законов движения исполнительных органов, а также стабильности скоростей при переменной нагрузке.

2) Малая скорость передачи пневматических сигналов, что приводит к запаздыванию выполнения операций.

3) Высокая стоимость пневматической энергии. КПД пневмопривода составляет обычно 5-15 % и очень редко до 30 %. Иногда КПД пневмопривода может быть 1 % и менее. Гидро- и электропривод имеют КПД, соответственно, около 70 % и 90 %. Поэтому пневмопривод не применяется в машинах с длительным режимом работы и большой мощности за исключением тех случаев, когда применение других типов приводов недопустимо.

4) По сравнению с электронными пневматические системы управления имеют низкое быстродействие, большие габариты и вес.

Для устранения недостатков применяют комбинированные пневмоэлектрические или пневмогидравлические приводы.

Тема 1.3 Области применения пневматических систем

История появления и использования пневматических устройств и систем

Одним из первых устройств, использующих сжатый воздух, являются кузнечные мехи с ручным приводом, которые появились более чем за 3000 лет до нашей эры.

В I веке до нашей эры греческий математик и механик Герон Александрийский в трактате «Пневматика» описал механизмы, приводимые в движение нагретым или сжатым воздухом. Живший в Александрии примерно в одно время с Героном древнегреческий изобретатель и математик Ктесибий изобрёл поршневой насос и музыкальную машину (прообраз современного органа). Немецкий физик Отто фон Герике в 1650 г. изобрел вакуумный насос, устройство, которое может вытягивать воздух или газ из прикрепленного сосуда.

В 1760 году в Англии был разработан поршневой компрессор («цилиндрические мехи»), обеспечивающий давление сжатого воздуха в 0,2 МПа.

В конце XIX века компрессоры стали сжимать не только воздух, но и другие газы. В 1850 г американский врач Гори впервые продемонстрировал процесс получения искусственного льда в созданном им аппарате, использовав технологию компрессионного цикла, которая применяется в современных холодильниках. В качестве рабочего газа он применил аммиак.

В марте 1878 года немец Кригар первым запатентовал идею винтовых компрессоров, однако производственные технологии того времени не позволяли изготовить сложную винтовую пару. Повышение точности литья и последующей обработки позволило в 1932 г. шведскому инженеру Линсхольму воплотить идею Кригара в жизнь.

Известно, что французы Андро и Тесси из Motay управляли автомобилем с пневматическим двигателем на испытательном треке в Шайо, Франция, 9 июля 1840 года.

Первым успешным применением пневматического двигателя на транспорте стал пневматический двигатель системы Мекарского, используемый в локомотивах. В двигателе Mekariski было преодолено охлаждение, сопровождающее расширение воздуха, за счет нагрева воздуха

в небольшом котле перед использованием. Компания Tramway de Nantes, расположенная в Нанте, Франция, была известна тем, что первой использовала двигатели Mekarski для питания своего парка локомотивов. Трамвай начал работу 13 декабря 1879 года. Американец Чарльз Ходжес также добился успеха с пневматическими двигателями в локомотивной промышленности. В 1911 году он спроектировал пневматический локомотив и продал патент компании Н.К. Porter в Питтсбурге для использования в угольных шахтах. Поскольку пневматические двигатели не используют горение, они были гораздо более безопасным вариантом в угольной промышленности.

Первая подводная лодка с механическим приводом, французская подводная лодка Plongeur 1863 года, использовала двигатель на сжатом воздухе.

Джордж Вестингауз впервые разработал воздушные тормоза для использования на железной дороге (1869 г.). Он запатентовал более безопасный воздушный тормоз в 1872 году. Вестингауз внес многочисленные изменения, чтобы улучшить свое изобретение, что привело к появлению различных форм автоматического пневматического тормоза.

В 1868 году американский стоматолог Джордж Ф. Грин изобрел пневматическую стоматологическую дрель, приводимую в действие сильфоном с педальным приводом. Вторая волна быстрого развития произошла в 1950-х и 60-х годах, включая разработку бормашины с воздушной турбиной.

Процесс искусственной пескоструйной обработки был запатентован Бенджамином Чу Тилгманом 18 октября 1870 года. Томас Уэсли Пэнгборн усовершенствовал идею и добавил сжатый воздух в 1904 году.

Пневматическая почта или пневмопочта - это система доставки писем по трубкам, работающим под давлением. Она была изобретена шотландским инженером Уильямом Мердоком в 19 веке, а позже была разработана Лондонской компанией по отправке пневматических грузов. Пневматические почтовые системы использовались в нескольких крупных городах, начиная со второй половины 19 века (включая лондонскую систему 1866 года). Подобный принцип использовали для создания работающих прототипов для перемещения пассажиров начиная с 1854 года.

Первая паровая дрель была запатентована Сэмюэлем Миллером в 1806 году. В дрели использовался пар только для подъема бура. Пневматические дрели были разработаны в ответ на потребности горнодобывающей промышленности, разработки карьеров, земляных работ и проходки туннелей. Пневматическая дрель была предложена К. Брантоном в 1844 году. К 1855 году были предложены и запатентованы различные конструкции пневматических бурильных установок.

Применение пневматических систем

Можно выделить следующие основные функции пневматических систем.

1. Перемещение объектов.
2. Создание усилий.
3. Автоматизация процессов.
4. Применение воздуха в качестве технологического инструмента.

Пневматические системы и устройства широко используются в различных областях, примеры которых приведены ниже:

- зажим заготовок при пайке, сварке, склеивании, термоуплотнении, обработке;
- открытие и закрытие «горячих» или массивных дверей и ограждений, разгрузка бункеров в строительной, горнодобывающей, металлургической и химической промышленности;
- трамбовка и виброобработка;
- управление тормозными механизмами в промышленности и на транспорте;
- пневматические прессы;
- пневматический инструмент;

- испытательные стенды;
- пневматические роботы;
- распределение и перекачка воды и химикатов, автоматическое дозирование;
- сепарация материала;
- транспортировка и дозирование порошкообразных материалов и многое другое.

Для питания пневмосистем используют три уровня давления воздуха:

- высокое давление (0,4–1,0 МПа) = 4–10 атм. Па (Паскаль) = Н/м².
- среднее давление (0,1–0,4 МПа) = 1–4 атм.
- низкое давление (менее 0,1 МПа) менее 1 атм. до 0,01–0,02 атм.

В соответствии с величиной используемого давления различают устройства высокого, среднего и низкого давления.

Перемещение объектов с помощью пневматических систем может осуществляться следующими способами:

- с использованием исполнительных механизмов,
- непосредственно самим воздушным потоком.

Система пневмотранспорта – это специальный комплекс резервуаров, трубопроводов и устройств, которые обеспечивают приведение в действие механизмов за счет энергии сжатого воздуха, выступающего в качестве рабочего тела.

Пневмотранспортные установки разделяют на всасывающие, нагнетательные и смешанные (рис.1.3.1).

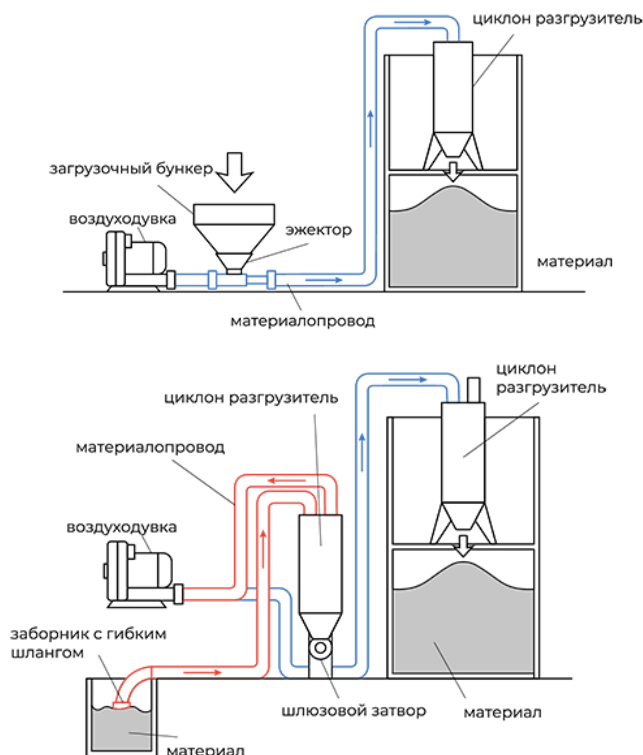


Рисунок 1.3.1 – Пример нагнетательной и комбинированной пневмотранспортной схемы

Пневмотранспорт эффективен для транспортировки пылевидных, зернистых и мелкокусковых грузов (цемент, песок, зола, угольная пыль, щепа и др. материалы) на относительно небольшие расстояния.

Нагнетательные системы обладают наиболее простой конструкцией в связи с чем являются наиболее популярным решением в большинстве транспортировочных процессов. Материал загружается в загрузочный бункер, из которого попадая в поток воздуха уносится потребителю. При работе с материалами, которые при транспортировке образуют пыль, на выходе необходимо также установить циклон разгрузитель, который предотвратит запыление помещения. Нагнетательные установки также удобны в тех случаях, когда необходимо обеспечить подачу материала сразу в несколько пунктов приема из одного источника.

Смешанные (комбинированные) системы сочетают в себе преимущества нагнетательной и вакуумной схемы. Вакуумный забор материала из разных источников сочетается с подачей материала под давлением, обеспечивающим большую дальность переноса при большей концентрации. В небольших установках функцию обеспечения вакуума и создания избыточного давления может выполнять одна и та же воздуходувка.

На рисунке 1.3.2 показана схема подачи транспортируемого материала в пневмонагнетатели.

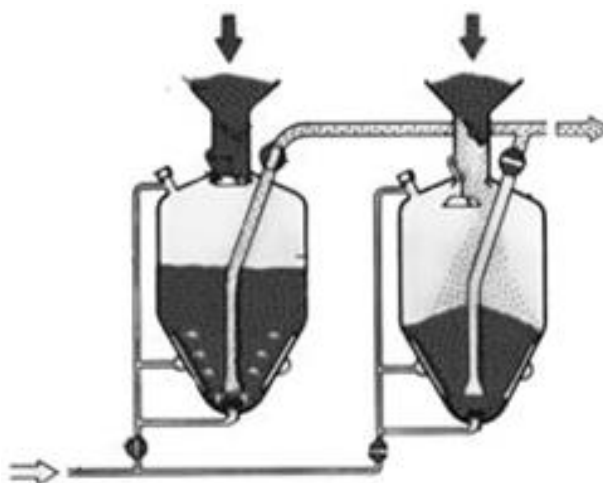


Рисунок 1.3.2 – Схема подачи транспортируемого материала в пневмонагнетатели

В конструкцию системы входят следующие элементы:

- питатель, подающий продукт на трассу (он упрощенно представляет собой загрузочный бункер для подачи транспортируемых веществ в материалопровод);
- воздуховод или компрессор, создающий избыточное давление в системе (выбор устройства зависит от мощности, давления и производительности установки);
- фильтры с возможностью установки на приемной емкости и на полу (в большинстве случаев используются ЦН-циклоны и пылеулавливатели с рукавными отсосами);
- диверторы, позволяющие управлять потоком воздуха с материалом;
- трубопроводы (воздухопроводы и материалопроводы, обеспечивающие отсутствие утечек);
- емкости для хранения сырья (их размер зависит от производственных нужд заказчика);
- предохранители;
- датчики давления и т.д.

Обеспечение воздушного потока в системе может достигаться 3 путями. Может продуцироваться избыточное давление нагнетающей системой в виде пневмоструйного насоса, воздуходувки или компрессора. Также воздух может попадать в установку за счет создания разрежения с помощью всасывающего устройства (воздуходувки, вентилятора, водокольцевого насоса). Помимо этого, воздушный поток в системе может создаваться благодаря избыточному давлению со стороны подачи материала и разрежения – со стороны его приемки. Все

воздуховоды имеют круглое сечение. Они изготавливаются из черной или оцинкованной стали.

При производстве изделий из пластмассы используются линейные, круговые и комбинированные пневмотранспортные системы. Линейный пневмотранспорт (продольного типа) применяется между двумя пунктами на одном предприятии. Круговые или кольцевые установки размещаются на ограниченной территории в разных зданиях. Комбинированные системы позволяют создать целую транспортную сеть (наподобие паутины). Выбор той или иной модели зависит от параметров транспортируемых материалов и характера производственного процесса.

Изображение элементов пневмотранспортной системы в составе цеха представлено на рис.1.3.3.

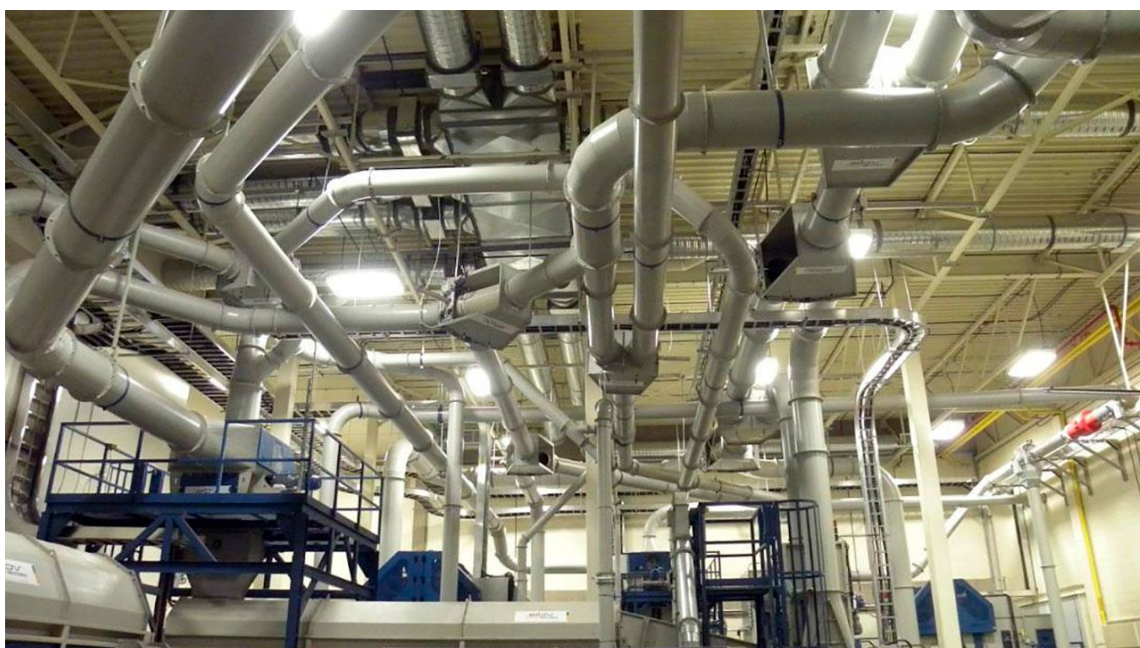


Рисунок 1.3.3 – Изображение элементов пневмотранспортной системы

Для переключения потока в пневмотранспортных системах используют переключатели потока, представленные на рис. 1.3.4.

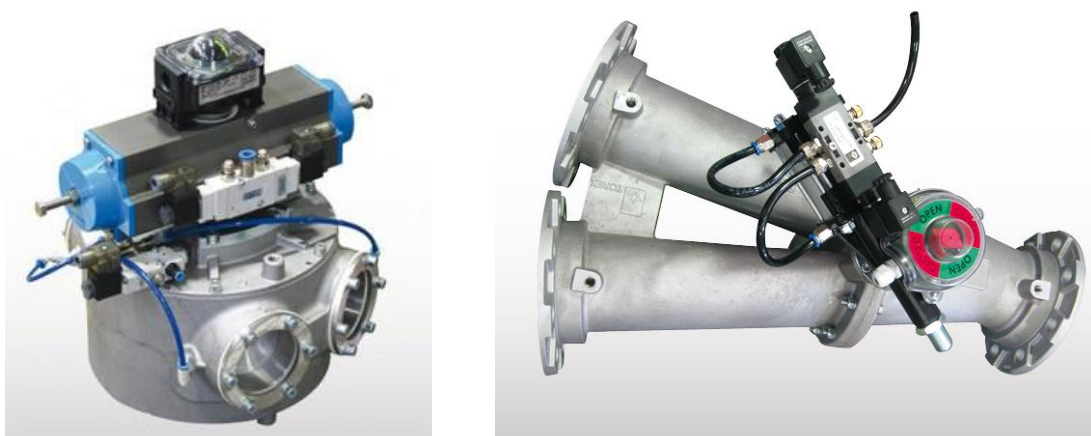


Рисунок 1.3.4 – Переключатели потока

Разгрузка сыпучих грузов может осуществляться с использованием пневматических разгрузчиков примеры которых представлены на рисунках 1.3.5а и 1.3.5б.



Рисунок 1.3.5 – Применение пневматических разгрузчиков
Пневмотранспорт широко применяется в пищевой промышленности (рис.1.3.6).

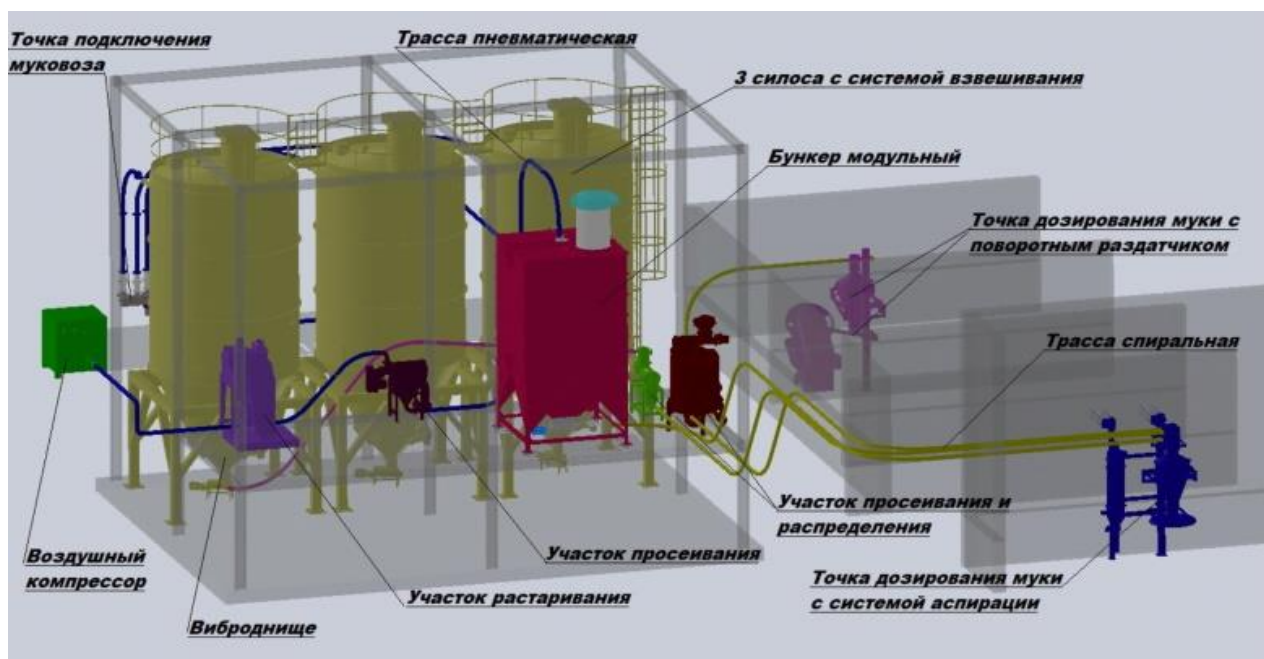


Рисунок 1.3.6 – Применение пневмотранспорта для транспортировки и дозирования пищевых продуктов на примере муки

Применение пневмотранспорта в системе аспирации деревообрабатывающего цеха для удаления древесной пыли представлено на рис. 1.3.7.

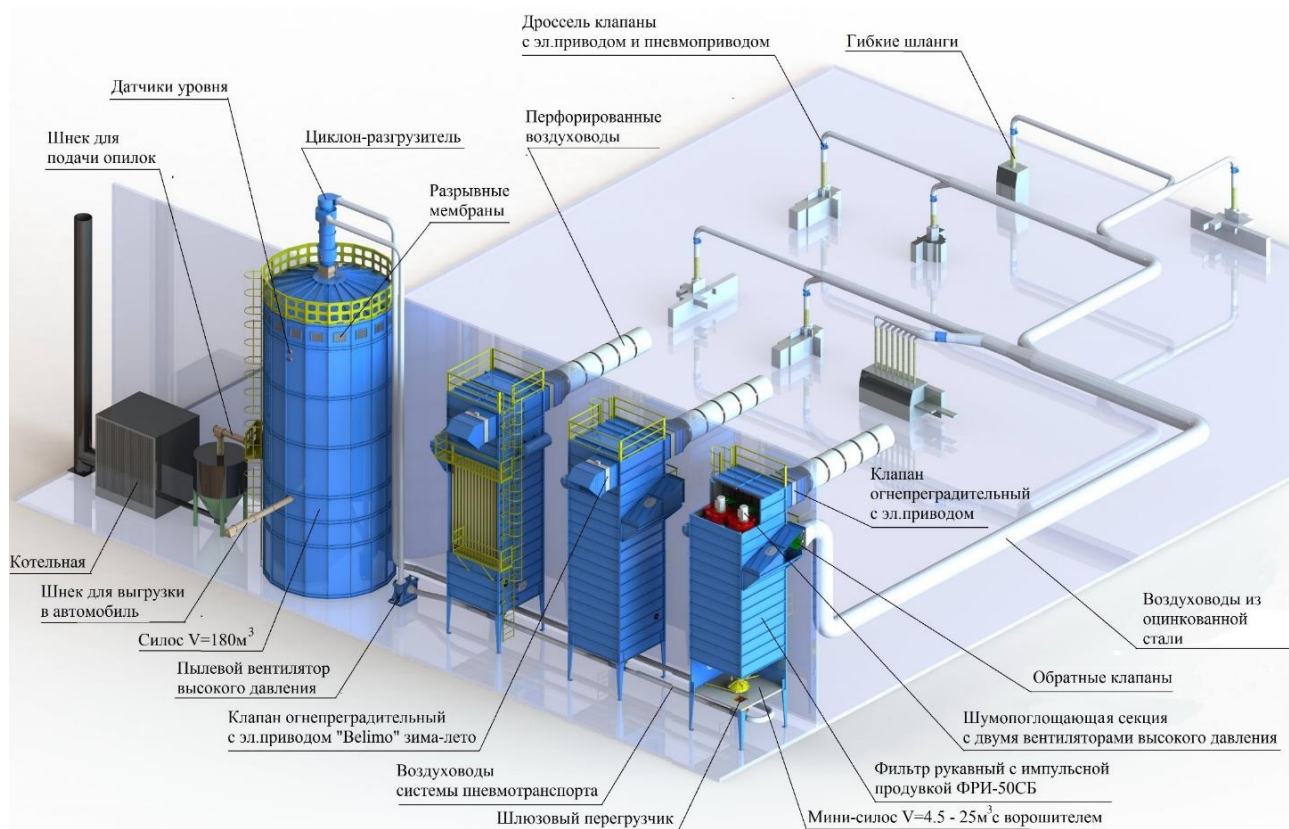


Рисунок 1.3.7 – Применение пневмотранспорта в системе аспирации деревообрабатывающего цеха

Применение сжатого воздуха для работы пневмопочты

Пневмопочта, как средство доставки писем получила наиболее широкое распространение на рубеже 19 и 20 века, а затем с развитием других принципов развития инфраструктуры городов постепенно теряла актуальность, особенно при появлении электронных систем связи и доставки сообщений. Однако подобные пневматические транспортные системы оказываются удобными в локальных масштабах для доставки небольших по размерам грузов в пределах зданий или между отдельными зданиями на небольших расстояниях. К таким грузам можно отнести: различные документы небольшого формата, денежные купюры, детали машиностроения, пробы материалов, биологические образцы и т.д.

Такие системы в своем составе обычно содержат: приемо-передающие станции, систему создания движения воздуха под давлением или разрежением, систему трубопроводов, капсулы (контейнеры для грузов), систему управления направлениями движения (контроллеры, стрелки и т.д.) (рис.1.3.8).

По типу различают одноканальные и многоканальные системы.

К преимуществам систем пневмопочты можно отнести быстроту и безопасность доставки, высвобождение труда персонала для других целей, современный уровень и комфортные условия обслуживания клиентов, возможность автоматического учета передачи и др.

В качестве недостатков систем можно отметить необходимость создания соответствующей инфраструктуры, что не всегда удобно и дешево, особенно в действующих зданиях, где пневмопочта изначально не была предусмотрена. Также существуют ограничения на вес и габариты перемещаемых грузов.

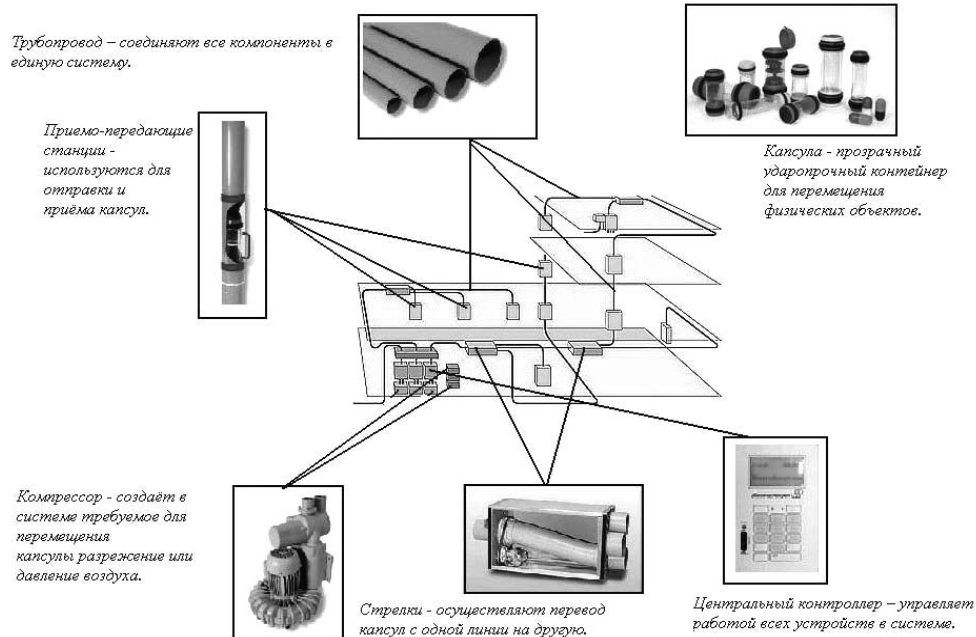


Рисунок 1.3.8 – Элементы системы пневмопочты

В специализированных зданиях таких как больницы и другие медицинские учреждения пневмопочта оказывается наиболее эффективной, так как позволяет при необходимости связывать отделения, регистратуру, лаборатории, больничные палаты, операционные, складские и другие помещения. Это позволяет не только сокращать время доставки, но и выиграть время для спасения жизни в экстренных ситуациях.

В Республике Беларусь пневмопочта используется в гипермаркетах различных сетей для передачи наличных денег на кассах и документов, в банках для передачи материальных ценностей и документов, в больницах и медицинских центрах для доставки лабораторных анализов и медицинских материалов, на молочных заводах для доставки проб молочной продукции и документов, на металлургическом заводе для доставки проб стали, а также пневмопочту использует значительное количество организаций связанных с работой со складами и другими видами деятельности требующими постоянного обмена небольшими грузами и документами. В настоящее время наиболее известными мировыми производителями систем пневмопочты являются: Sumetzberger, Hanter, Swisslog, Aerocom.

Применение сжатого воздуха на транспорте

Пневматические системы имеют широкое применение на транспортных средствах. На рис. 1.3.9 представлены примеры пневмопривода дверей троллейбусов.

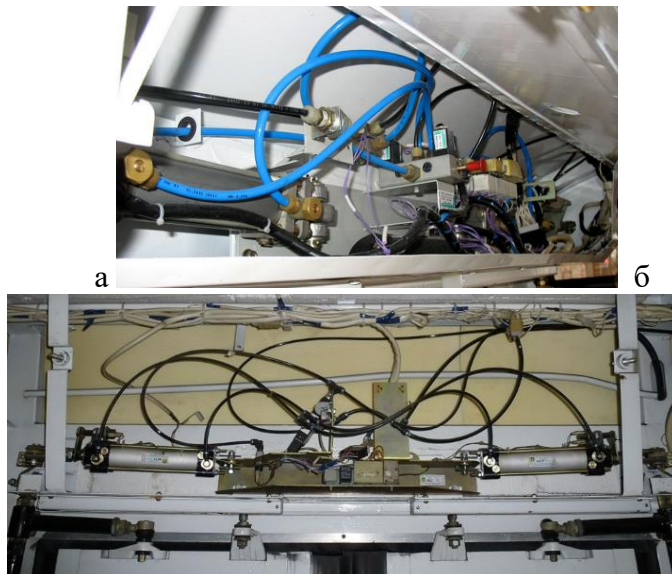


Рисунок 1.3.9 – Пневматический привод дверей троллейбуса ЗИУ-682Г а и ТролЗа-5264.05 «Слобода» б

Кроме привода дверей пневмопривод обеспечивает работу и других систем троллейбусов (тормозная система, подвеска, привод штанговых токоприемников). Основные узлы, обеспечивающие работу указанных систем представлены на рис. 1.3.10.

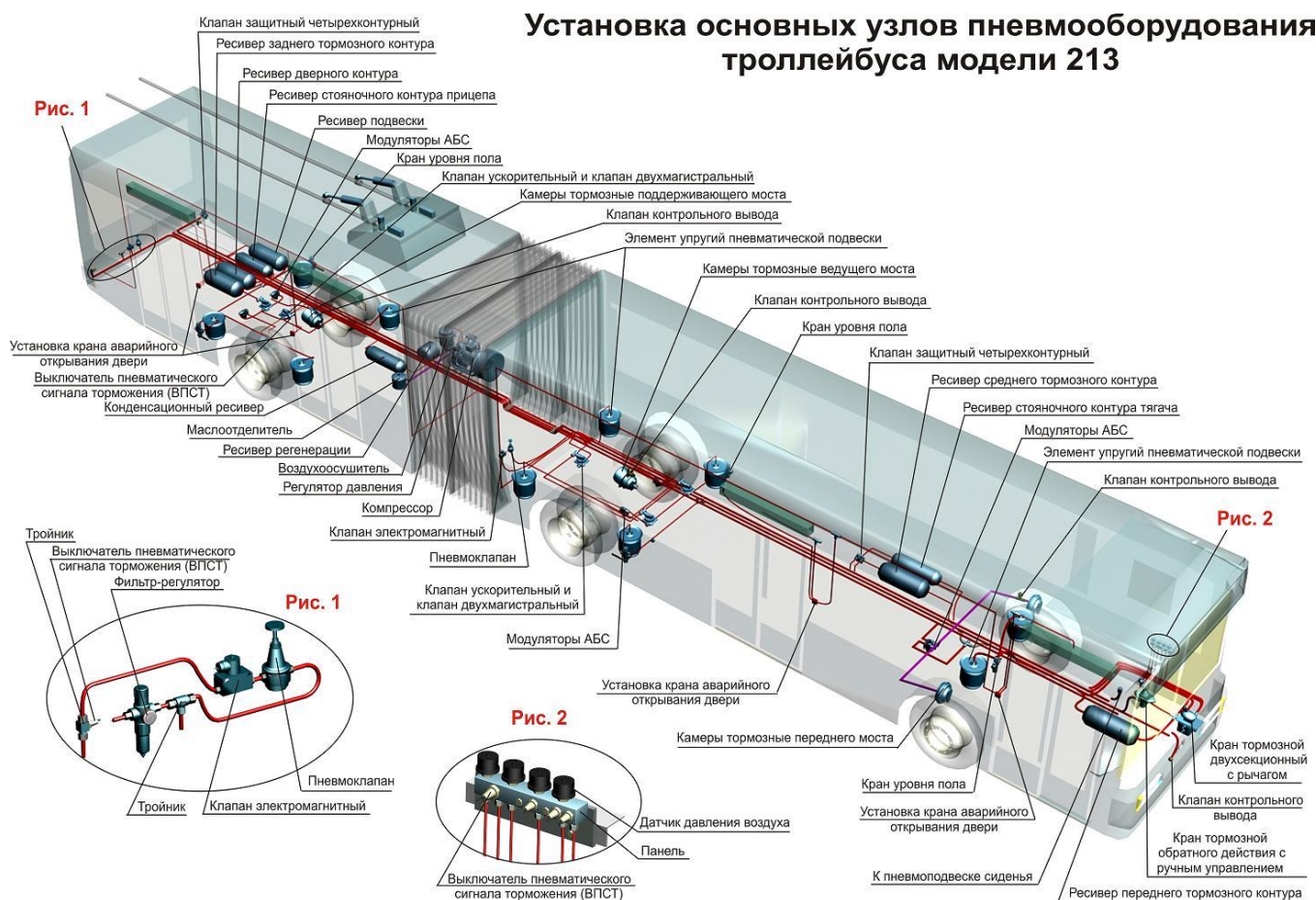


Рисунок 1.3.10 – Установка основных узлов пневмооборудования троллейбуса модели 213

Общая схема применения пневмоустройств в пневматических тормозных системах представлена на рисунке 1.3.11.

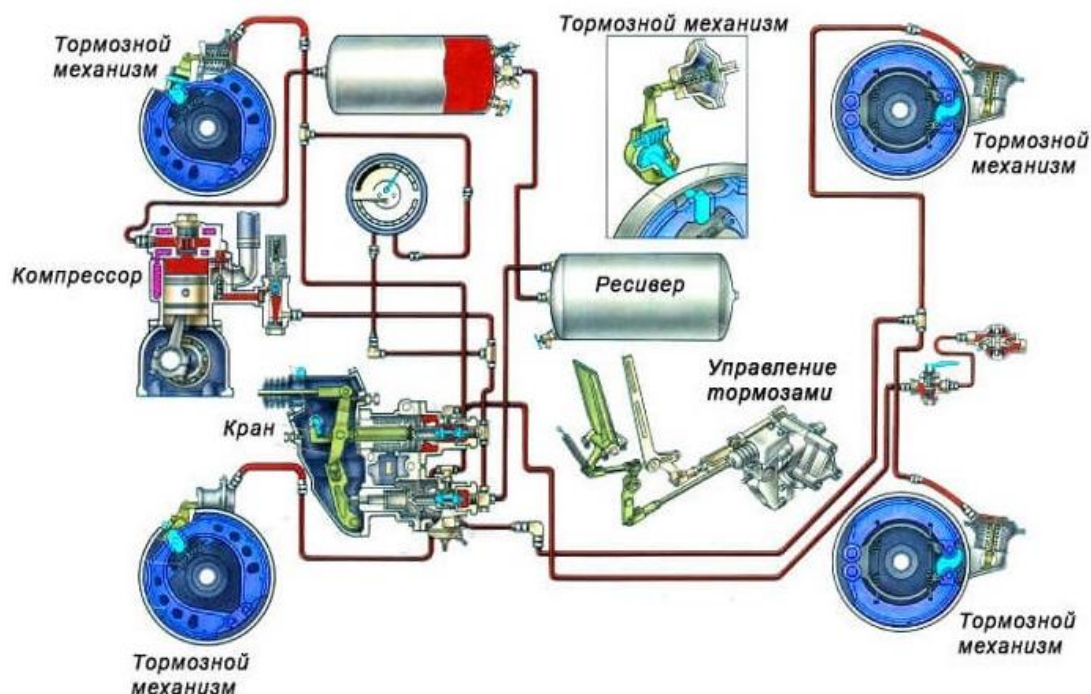


Рисунок 1.3.11 – Пневматическая тормозная система

Применение пневмоинструментов

В различных отраслях получили широкое распространение пневматические инструменты. В строительстве широко используют пневматические бетоноломы, отбойные молотки и перфораторы (рис.1.3.12).



Рисунок 1.3.12 – Применение пневматического отбойного молотка

Некоторые пневматические инструменты представлены на рисунках 1.3.13 и 1.3.14.



а
 1 – кнопка пуска; 2 – регулятор; 3 – двигатель (ротор); 4 – молотки; 5 – рама молотков; 6 – клапан; 7 – штуцер; 8 – патрон

Рисунок 1.3.13 – Пневматические гайковерты: а – основные элементы; б – разновидности

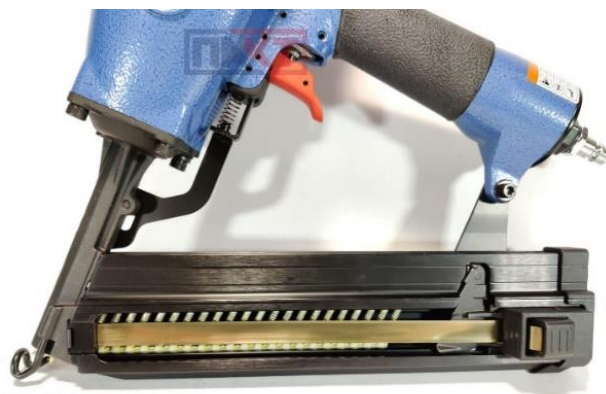
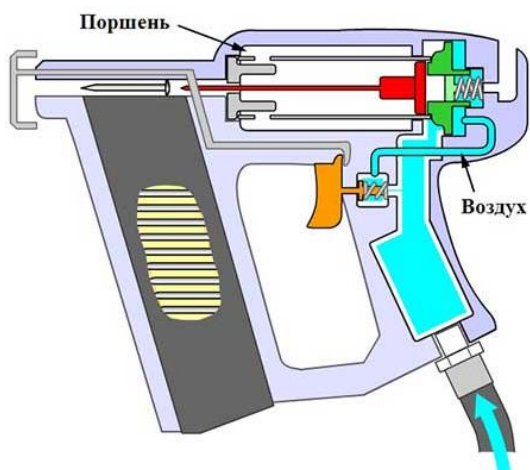


Рисунок 1.3.14 – Пневматический нейлер (гвоздезабивной инструмент)

Воздух широко используется для распыления лакокрасочных и других материалов, наносимых на изделия в жидком виде. На рисунке 1.3.15 представлен пневматический окрасочный пистолет для распыления лакокрасочных материалов.

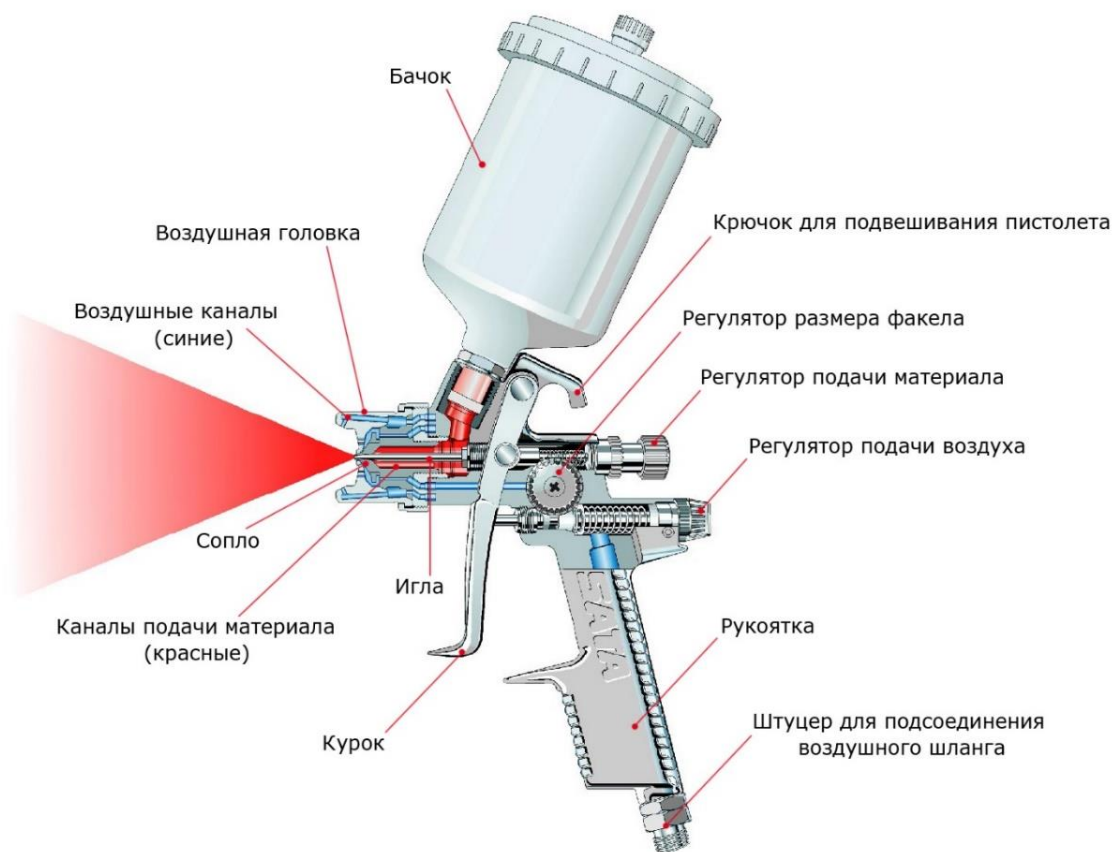


Рисунок 1.3.15 – Краскопульт (окрасочный пистолет)

Применение сжатого воздуха в станках

В зависимости от комплектации и конструктивных особенностей в станках ЧПУ на сжатом воздухе могут работать следующие системы и устройства:

- обдув фрезерующего инструмента, для очистки от стружки и защиты от перегрева;
- система пневматических упоров;
- затворные клапаны вакуумной системы;
- зажимные устройства рабочих столов;
- устройства автоматической смены инструмента;
- поворотная ось главного фрезерного шпинделя;
- подвижные оси агрегатов, устанавливаемые на станок ЧПУ;
- защита подшипников главного фрезерного шпинделя;
- пневмоцилиндры сверлильно-присадочной группы;
- вспомогательные механизмы для загрузки деталей;
- аспирационные кожухи;
- затворы воздухоотводов и др.;
- устройство пневматической системы станка ЧПУ.

Применение пневматических систем в пищевой промышленности, фармацевтике и других областях

Пневматические системы в пищевой промышленности используются как для транспортировки и дозирования порошковых и жидких продуктов, так и для автоматизации технологических процессов (рис. 1.3.16 – 1.3.18).



Рисунок 1.3.16 – Пневматические системы в пищевой промышленности



Рисунок 1.3.17 – Автомат фасовки жидких продуктов

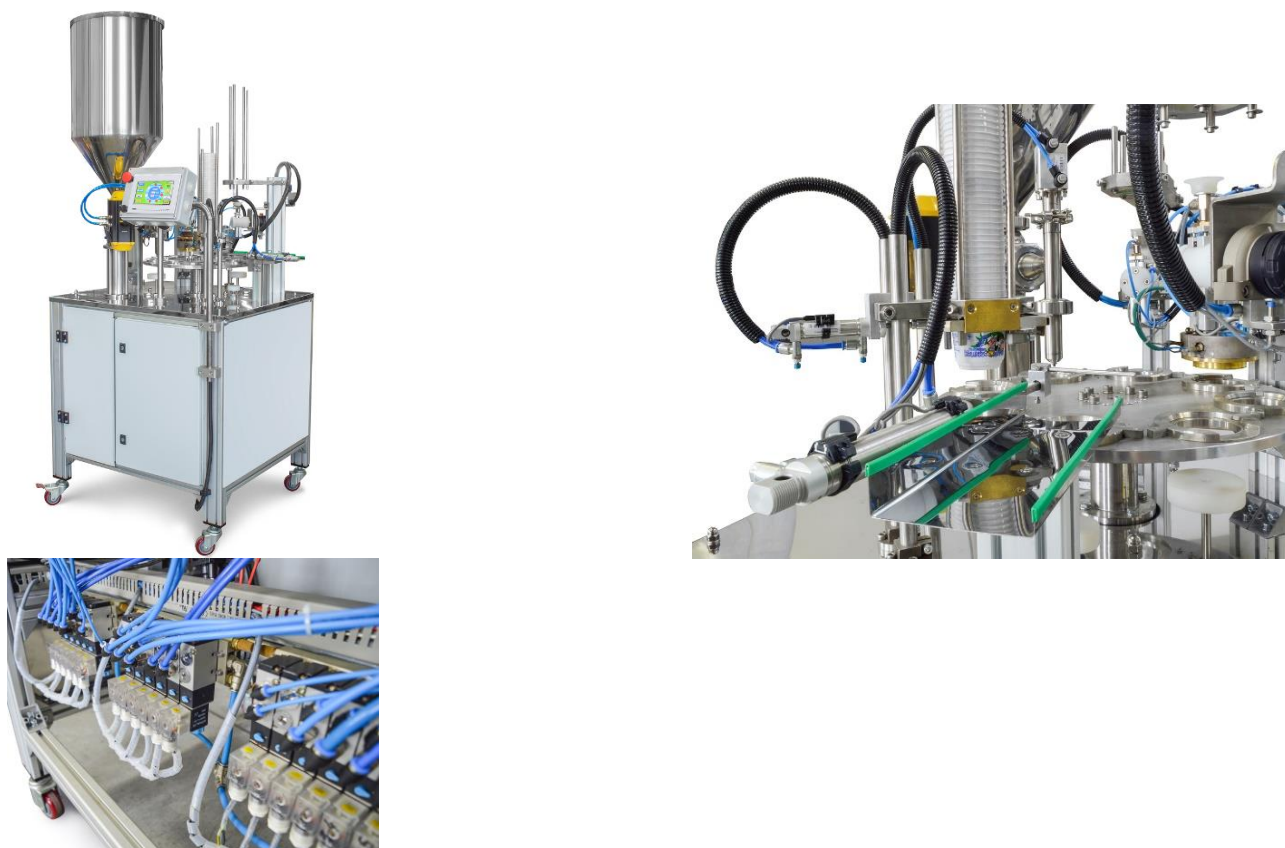


Рисунок 1.3.18 – Автоматический роторный (карусельный) дозатор АДНК-8 для фасовки в пластиковую тару жидких продуктов

Применение пневматических устройств и систем в медицине

Как уже было указано ранее в крупных медицинских учреждениях широко применяют пневмотранспортные системы (пример оборудованного рабочего поста представлен на рис. 1.3.19).



Рисунок 1.3.19 – Системы пневмотранспорта в медицинских учреждениях

Сжатый воздух традиционной широко применяется для привода стоматологических бормашиин при оснащении стоматологических кресел, а также постепенно получают распространение и портативные (мобильные) установки (рисунок 1.3.20).



Рисунок 1.3.20 – Портативные стоматологические установки (мобильный блок наконечников)

Типичными параметрами турбинных стоматологических наконечников являются высокие частоты вращения (300-400 тыс. об/мин), мощность 15-25 Вт, рабочее давление 2-3 бар и уровень шума около 64 дБА.

На рис.1.3.21 представлены разные варианты использования воздушного привода в стоматологических устройствах.



Рисунок 1.3.21 – Стоматологический наконечник (а), прямая турбина со спреем (б) и воздушный микро мотор (в)

Микро мотор – устройство, передающее вращение стоматологическому наконечнику, который, в свою очередь, передает вращение на стоматологические вращающиеся инструменты: боры, фрезы и т.п.

При использовании микротурбин в стоматологических наконечниках инструмент имеет значительную частоту вращения около 400 тысяч оборотов в минуту при относительно небольшом моменте. Пример роторных групп стоматологических наконечников представлен на рисунке 1.3.22.



Рисунок 1.3.22 – Пример роторных групп стоматологических наконечников

На рисунке 1.3.23 представлено изображение медицинского неметаллического пневматического робота для взятия биопсии тканей внутри аппарата МРТ где невозможно использование металлов.

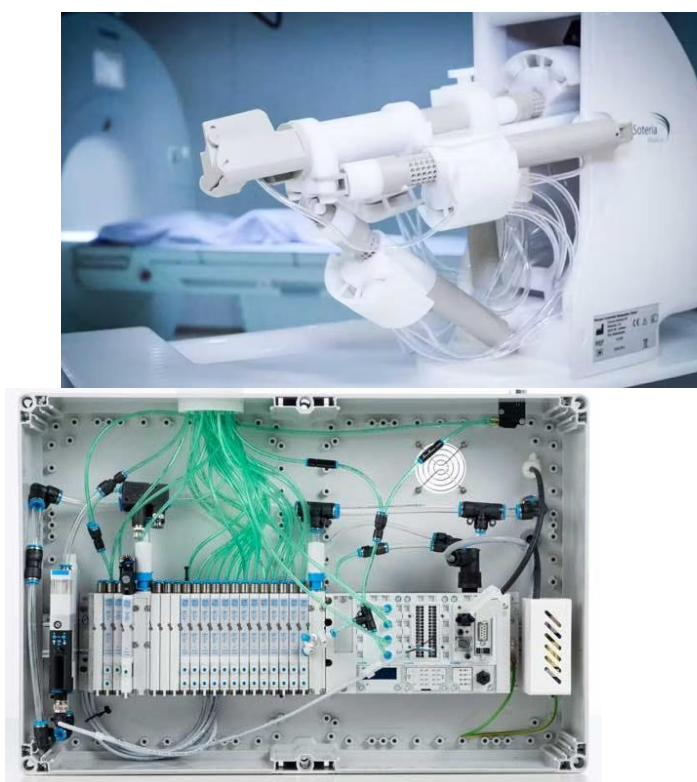


Рисунок 1.3.23 – Медицинский неметаллический пневматический робот для взятия биопсии тканей внутри аппарата МРТ

На рисунке 1.3.24 представлен аппарат искусственной вентиляции легких (аппарат ИВЛ) – медицинское оборудование, предназначенное для принудительной подачи газовой смеси (кислород и сжатый осушенный воздух) в легкие с целью насыщения крови кислородом и удаления из легких углекислого газа.



Рисунок 1.3.24 – Аппарат ИВЛ

Использование пневматических устройств в различном медицинском оборудовании имеет свои специфические особенности, поэтому производители пневматических устройств часто предоставляют специальные исполнения пневмоэлементов для работы в таких условиях.

Тема 1.4 Основные элементы пневмосистем. Связь функций элементов пневматических систем с обозначением их на принципиальных схемах

Принципиальная схема пневмогидравлического объекта определяет состав его элементов, связей между ними и дает полное представление о принципах работы изделия. Для обозначения каждого из входящих в схему элементов (узлов) используют простые символы, которые называют условными обозначениями.

Каждый символ в какой-то мере отражает функцию или конструкцию элемента схемы. Наличие косой стрелки, перечеркивающей тот или иной символ, означает, что для данного конструктивного элемента существует возможность настройки.

Проектирование пневматических систем требует применения единых норм изображения конструкций и схем. Условные обозначения отражают следующие свойства пневмоэлементов:

- тип управления и возврата в исходное положение,
- число линий (присоединений) и их обозначения,
- число позиций переключения,
- принцип действия,
- упрощенное представление проточной части.

Выполнять схемы желательно так, чтобы меньше было пересечений линий связи. Условные обозначения, которые находят применение в пневмоавтоматике, выполняются в соответствии с ДИН ИСО 1219 "Гидравлические и пневматические системы и приборы - обозначение схем".

Единая система обозначений для гидравлического и пневматического оборудования была предложена в 1964 году Европейским Комитетом по Гидравлике и Пневматике (СЕТОР – European Oil Hydraulic and Pneumatic Comitee).

Эти символы были признаны Международной Организацией по Стандартизации (ISO – International Organization for Standardization) и поначалу были изданы как рекомендации ISO за номером R1219. Затем система обозначений была принята как стандарт ISO 1219 “Fluid Power System and Components – Graphical Symbols”.

В Республике Беларусь и России обозначения пневмоэлементов выполняются в соответствии со стандартами Единой Системы Конструкторской Документации: ГОСТ 2.780-96, 2.781-96, 2.782-96. Эти стандарты полностью соответствуют стандарту ISO. В связи с консервативностью стандартизации производители могут для новых пневматических элементов вводить свои обозначения.

Условные обозначения подсистемы снабжения сжатым воздухом могут представлять, как отдельные элементы, так и комбинации нескольких элементов. Если применяется присоединение линии питания общее для всех пневмоэлементов, то тогда возможно обозначение источника сжатого воздуха в виде упрощенного символа.

Более подробно с правилами и рекомендациями в отношении обозначений и схемотехники можно ознакомиться в следующих стандартах:

DIN ISO 1219 Пневмогидравлические системы и устройства. Графические обозначения.

DIN 1343 Рекомендуемые ряды размеров, нормальные ряды, нормальные объемы. Понятия, значения.

DIN ISO 5599-3, часть 1 Техника гидро- и пневмоавтоматики, пятилинейные пневмораспределители, монтажная поверхность, общие понятия.

СЕТОР RP 68P REV. Правила обозначения присоединений и способов управления пневматическими распределителями и другими пневматическими устройствами (временные рекомендации).






DIN 40719, часть 6 Схемотехника. Правила составления документации.

VDI 3226 Пневматическое управление. Принципиальные схемы.

Принципиальная схема пневматического объекта определяет состав его элементов, связей между ними и дает полное представление о принципах работы объекта.

Каждый символ в какой-то мере отражает функцию или конструкцию элемента схемы. Выполнять схемы желательно так, чтобы было меньше пересечений линий связи. Условные обозначения, которые находят применение в пневмоавтоматике, выполняются в соответствии с ИСО 1219 "Гидравлические и пневматические системы и приборы - обозначение схем". В табл. 1.4.1 приведены условные обозначения элементов системы производства и подготовки воздуха.





Таблица 1.4.1 – Элементы системы производства и подготовки воздуха

Вид пневмоустройства (пневмоэлемента)	Обозначение
Источник давления	
Компрессор с постоянным рабочим объемом	
Пневноаккумулятор (ресивер)	
Фильтр влагоотделитель	
Ограничитель давления (предохранительный клапан)	

Линейные исполнительные устройства

Линейные исполнительные устройства или пневмоцилиндры изображаются в виде, близком к их конструктивной форме, но без деталей, не несущих основного функционального назначения. В табл. 1.4.2 приведены условные обозначения некоторых пневмоцилиндров.



Таблица 1.4.2 – Пневмоцилиндры

Вид пневмоцилиндра	Обозначение
Цилиндр одностороннего действия	
Цилиндр двустороннего действия	
Цилиндр двустороннего действия с проходным штоком	
Цилиндр двустороннего действия с регулируемым демпфированием	

Вращательные исполнительные устройства

Различают вращательные приводы в виде моторов с неограниченным углом поворота и поворотные приводы с ограниченным углом поворота (табл. 1.4.3).

Таблица 1.4.3 – Пневмомоторы и поворотники






Вид пневмомотора	Обозначение
Пневмомотор с постоянным рабочим объемом и одним направлением вращения (неревверсивный)	
Ревверсивный пневмомотор с регулируемым рабочим объемом	

Пневматический поворотник	
---------------------------	---

Пневмораспределители

Распределители используются для коммутации и изменения направления движения энергоносителя под давлением (табл.1.4.4).

Таблица 1.4.4 – Обозначение позиций распределителей

Логика построения обозначения	Обозначение
Позиции переключения изображаются в виде квадрата	
Число квадратов соответствует числу позиций переключения	 2 позиции
Линия обозначает, проточную часть с указанием направления течения	
Закрытый канал обозначается прерыванием линии с рисками на концах	
Линии присоединения к распределителю обозначаются вне квадрата в одной позиции	

Распределители характеризуются числом присоединений, числом позиций переключения и проточной частью. В табл. 1.4.5 представлены варианты пневмораспределителей.

Таблица 1.4.5 – Пневмораспределители

Условное графическое изображение	Тип пневмораспределителя	Условное графическое изображение	Тип пневмораспределителя
	2/2 Нормально закрытый		5/2
	3/2 Нормально закрытый		5/3 в среднем положении закрыт






В обозначении распределителя 5/2 первая цифра показывает число линий присоединения, а вторая число позиций переключения.

Линии присоединения распределителей могут обозначаться буквами или цифрами по DIN ISO 5599-3. Цифрой 1 или буквой P обозначают линии питания сжатым воздухом. Цифрами 2, 4 или буквами A, B рабочие линии. Цифрами 3, 5 или буквами R, S линии выхлопа.

Основные способы управления распределителем и возврата его в исходное состояние должны изображаться вместе с распределителем (табл.1.4.6).

Таблица 1.4.6 – Условные графические изображения некоторых видов управления пневмораспределителями

Условное графическое изображение	Вид управления

	Ручное управление обобщенный символ (поворотный переключатель, переключатель с замком, рукоятка, тяга, тумблер и т.д.)
	Нажимная кнопка (грибовидная, выступающая, утопленная)
	Механический толкатель (прямой толкатель, роликовый толкатель)
	Управление посредством сжатого воздуха
	Возвратная пружина

Обратные клапаны

Обратные клапаны устанавливают в тех линиях пневматической системы, где требуется обеспечить свободное протекание потока сжатого воздуха в одном направлении и полное его перекрытие – в обратном (рис. 1.4.1).

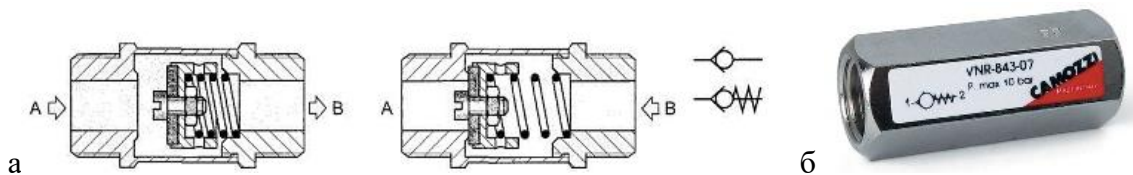


Рис. 1.4.1 Обратный клапан: *а* – конструкция и условное графическое обозначение на схемах; *б* – внешний вид

Устройства регулирования расхода

Дроссель создает сопротивление потоку и как правило используется для регулирования скорости исполнительных органов привода.

На рисунке показан как постоянный (рис. 1.4.2а) так и регулируемый дроссель (рис. 1.4.2б).



Рис. 1.4.2 Пневмодроссели (конструкция и условное графическое обозначение на схемах): *а* – постоянный; *б* – регулируемый; *в* – внешний вид; *г* – дроссель с глушителем

Пневмодроссель с обратным клапаном

В дросселе с обратным клапаном последний включается параллельно дросселю. В этом случае дросселирование осуществляется только в одном направлении.

Дросселируемый воздушный поток (рис. 1.4.3а): воздух, идущий таким образом, должен пройти дроссель (регулятор потока), так как другой путь заблокирован обратным клапаном.

Свободный поток воздуха (рис. 1.4.3б): воздух, идущий в противоположном направлении, может обойти дроссель и проходит через обратный клапан.



Рисунок 1.4.3 – Использование пневмодресселя с обратным клапаном

Пневмодрессель с обратным клапаном представлен на рис. 1.4.4.

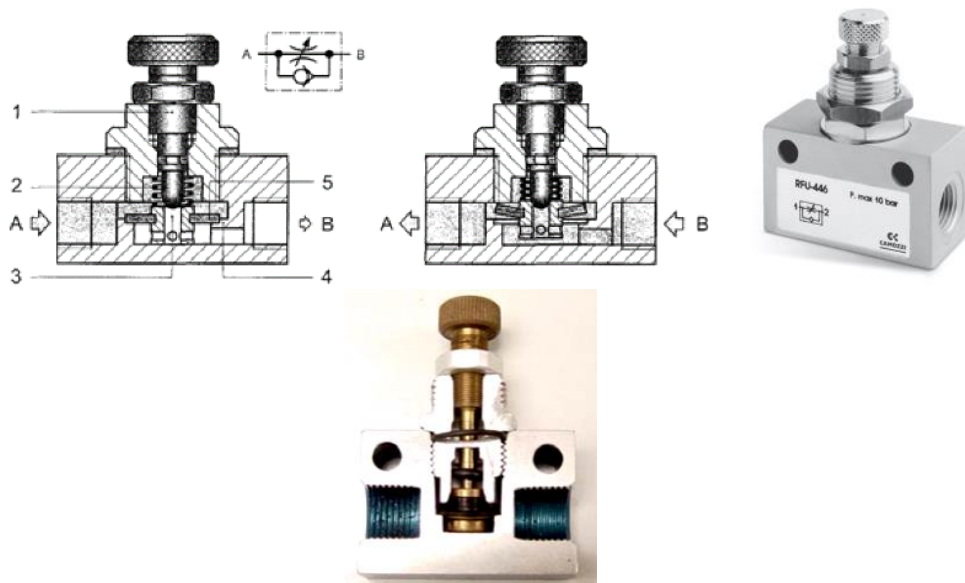


Рис. 1.4.4 – Пневмодрессель с обратным клапаном (конструкция и условное графическое обозначение на схемах): 1 – регулировочный винт; 2 – пружина; 3 – дросселирующее отверстие; 4 – седло; 5 – тарельчатый обратный клапан

Вспомогательные условные обозначения

Имеется ряд дополнительных узлов, которые применяются совместно с упомянутыми устройствами (табл. 1.4.7).

Таблица 1.4.7 – Дополнительные элементы пневмосхем

Условное графическое изображение	Элемент схемы	Внешний вид
	Соединение трубопроводов	
	Пересечение трубопроводов	
	Внешняя линия без узла для присоединения	
	Внешняя линия с резьбой для присоединения	
	Глушитель	

	Манометр	
	Оптический индикатор	

Простейшая схема пневматического привода представлена на рисунке 1.4.5. В соответствии с изученными функциями отдельных элементов работа схемы происходит следующим образом. Подготовленный воздух пройдя через блок подготовки воздуха 0.1 (включающий фильтр, регулятор давления с манометром и маслораспылитель) попадает через включенный распределитель 0.2 на вход 1(P) исполнительного распределителя 1.1 с кнопочным управлением. Поршень пневмоцилиндра находится в исходном положении давление в рабочей полости отсутствует. При нажатии на кнопку распределителя 1.1 он переключается в рабочую позицию и соединяет линию давления 1(P) с рабочей линией 2 (А). Воздух начинает поступать в рабочую полость пневмоцилиндра 1.0 давление возрастает и поршень пневмоцилиндра преодолевая силу сопротивления пружины, трения и рабочего усилия действующего на шток начинает движение. Движение осуществляется пока нажата кнопка (без фиксации) исполнительного распределителя 1.1 или пока поршень пневмоцилиндра не достигнет конечного положения. При отпускании кнопки распределитель 1.1 переключается за счет пружины в исходную позицию соединяя рабочую полость пневмоцилиндра с выхлопной линией 3(R) выпуская воздух в атмосферу. Переключение распределителя 0.2 снимает давление с исполнительного распределителя 1.1.

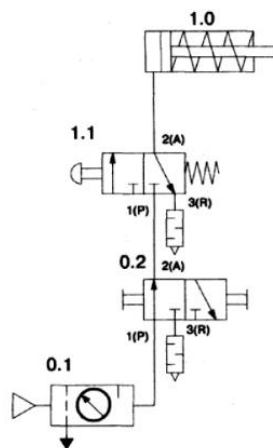


Рис. 1.4.5 – Простейшая схема пневматического привода

На рисунке 1.4.6 представлено рекомендуемое расположение условных графических обозначений пневмоэлементов на принципиальных схемах. Схема дополнительно содержит устройства регулирования расхода 1.01 и 1.02 в виде дросселя с обратными клапаном. Информационно-измерительные устройства (датчики) рекомендуется изображать на определенном уровне в виде распределителей 1.3 (K2) и 1.4 (K1) с управлением нажатием на роликовый толкатель, а их реальное расположение по отношению к штоку пневмоцилиндра указывается черточками.



Рисунок 1.4.6 – Рекомендуемое расположение условных графических обозначений пневмоэлементов на принципиальных схемах

Представленная схема реализует возможность обратного хода штока пневмоцилиндра по нажатию на роликовый толкатель распределителя K2 располагаемого на необходимом расстоянии по ходу штока.

Раздел II. ЭЛЕМЕНТЫ И СХЕМЫ ПНЕВМОСИСТЕМ И ПНЕВМОПРИВОДОВ

Тема 2.1 Производство и распределение сжатого воздуха

Производство сжатого воздуха

Для получения сжатого воздуха используют различные компрессоры.

Компрессор – устройство для забора воздуха в первоначальном состоянии (атмосферное давление) сжатия и подачи его на выход с увеличенным давлением.

Рабочее давление и необходимый объем воздуха являются основными определяющими критериями по выбору компрессора.

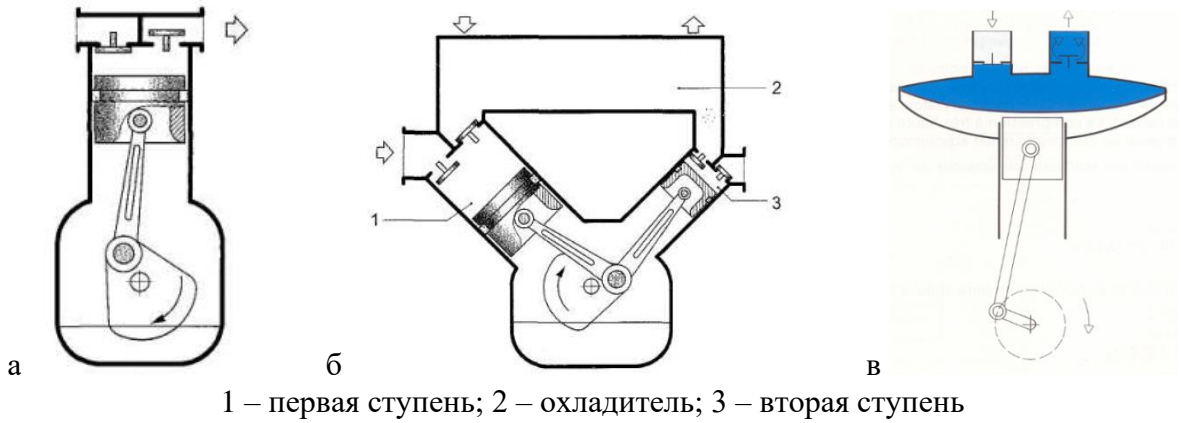
Различают два основных типа компрессоров: объемные и динамические.

Объемные компрессоры.

Объемные компрессоры – машины, в которых процесс сжатия происходит в рабочих камерах, периодически изменяющих свой объем, попеременно сообщающихся с входом и выходом компрессора.

Это поршневые компрессоры, мембранные и роторные.

В поршневых компрессорах, сжатие среды происходит вследствие движения поршня. Когда компрессор работает, поршень движется вверх и вниз в цилиндре. Система клапанов используется, чтобы впускать сжимаемую среду в агрегат и выпустить затем сжатую среду. Поршневой и мембранный компрессор показаны на рис. 2.1.1.



1 – первая ступень; 2 – охладитель; 3 – вторая ступень
 Рисунок 2.1.1 – Поршневой и мембранный (диафрагменный) компрессор

Принцип работы мембранного компрессора

Сжатие газа в таком компрессоре происходит с помощью гибкой мембраны, которая совершает возвратно-поступательные движения. Мембрана обычно приводится в движение толкателем, закрепленным на коленчатом валу. По периметру мембрана закреплена на рабочей камере компрессора, таким образом в мембранном компрессоре в отличие от поршневого нет необходимости использовать поршневые кольца, манжеты для уплотнения штока и поршня. В мембранном компрессоре с газом контактирует только внутренние поверхности рабочей камеры и мембрана, которые не сообщаются с окружающей средой. По этой причине мембранные компрессоры отлично подходят для перекачивания токсичных и взрывоопасных газов.

Роторно-пластинчатый компрессор показан на рис. 2.1.2.

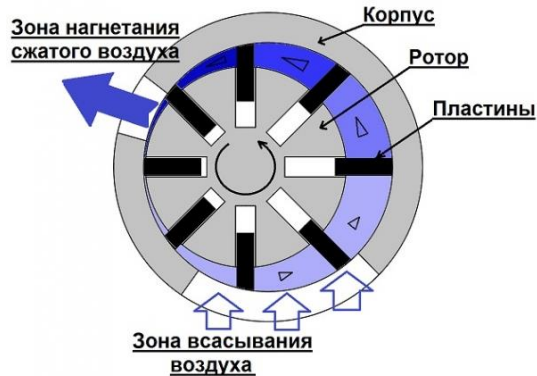


Рисунок 2.1.2 – Роторно-пластинчатый компрессор

Компрессор Рутса показан на рис. 2.1.3.

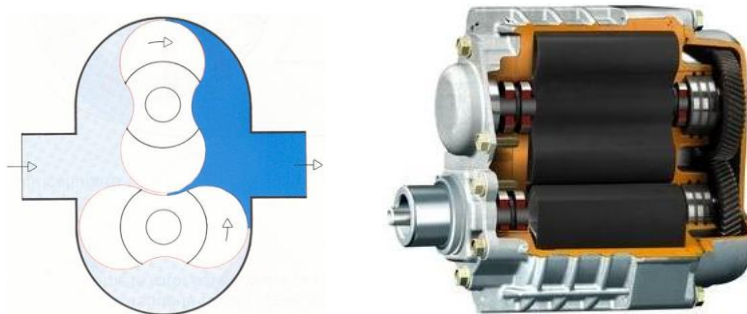
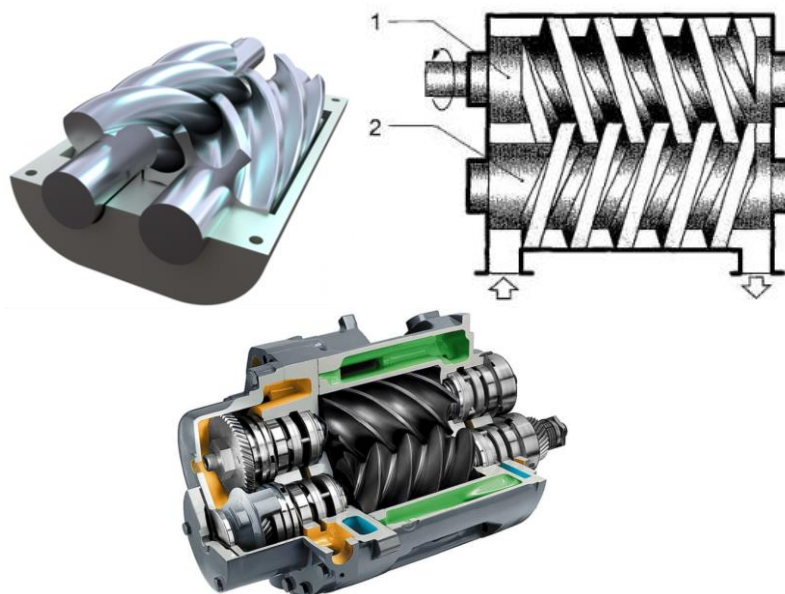


Рисунок 2.1.3 – Воздуходувка (компрессор) Рутса

Винтовые компрессоры (рис. 2.1.4) относятся к классу роторных объемных машин, сжатие газа в них осуществляется за счет изменения объема рабочей камеры, образованной поверхностями роторов (винтов). Такие компрессоры часто применяются в пневматических системах, холодильной технике, химической промышленности.



1 – ведущий винт; 2 – ведомый винт
Рисунок 2.1.4 – Винтовой компрессор

Сравнивая компрессоры поршневого и винтового типа можно отметить: для винтового компрессора увеличение температуры воздуха составляет меньшие значения (в среднем +10 °С против +80 °С), меньший уровень шума (65-70 дБ (А) против 80-95 у поршневых), существенно выше надежность (до 10 раз), непрерывность работы без остановок, меньшая загрязненность маслом воздуха (в 5 раз), более высокая эффективность при всасывании, меньшая на 25% чем у поршневых мощность на единицу объема сжатого воздуха. Однако компрессоры винтового типа существенно дороже компрессоров поршневого типа.

Лопатные компрессоры или турбокомпрессоры

Это разновидность компрессоров, предназначенная для повышения давления рабочего тела за счёт взаимодействия последнего с подвижными и неподвижными лопаточными решётками компрессора.

Принцип действия лопаточных компрессоров – увеличение полного давления рабочего тела за счёт преобразования механической работы компрессора в кинетическую энергию рабочего тела с последующим преобразованием её во внутреннюю энергию.

Осевой и радиальный турбокомпрессор показаны на рис. 2.1.5.

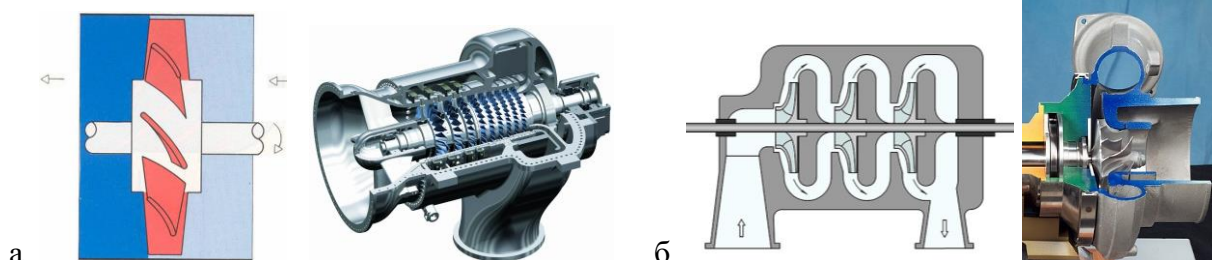


Рисунок 2.1.5 – Осевой (а) и радиальный турбокомпрессор (б)

Производство сжатого воздуха осуществляется за счёт установки, которая включает в себя: компрессор; резервуар (ресивер); приборы системы безопасности и регулировки (клапаны безопасности, редукционные клапаны, устройства сброса конденсата, фильтры и др.); распределительные линии.

Система подачи и распределения воздуха показана на рис. 2.1.6.

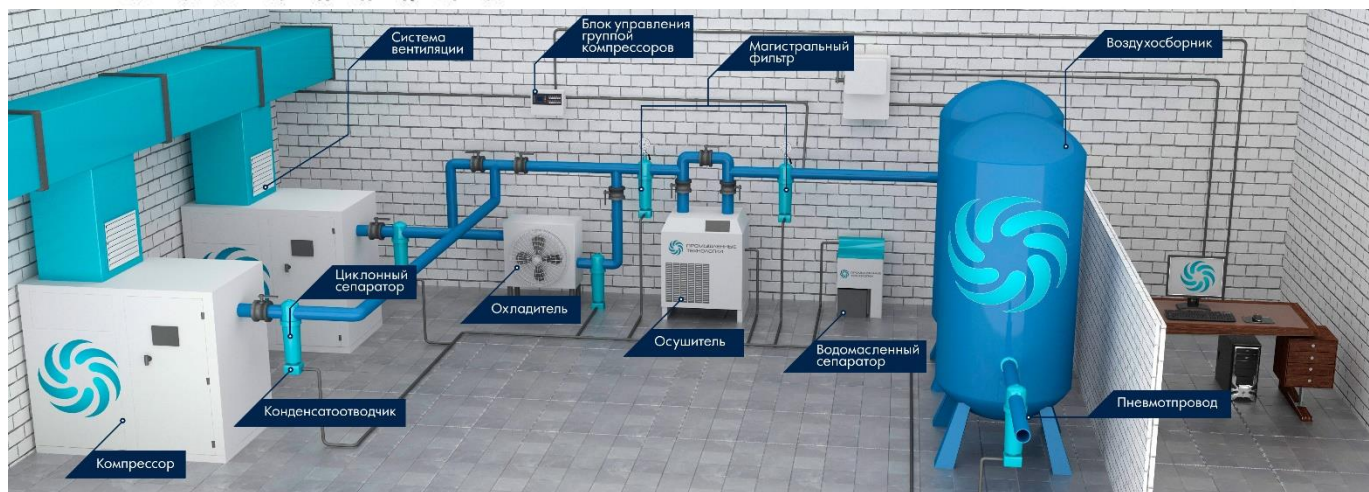
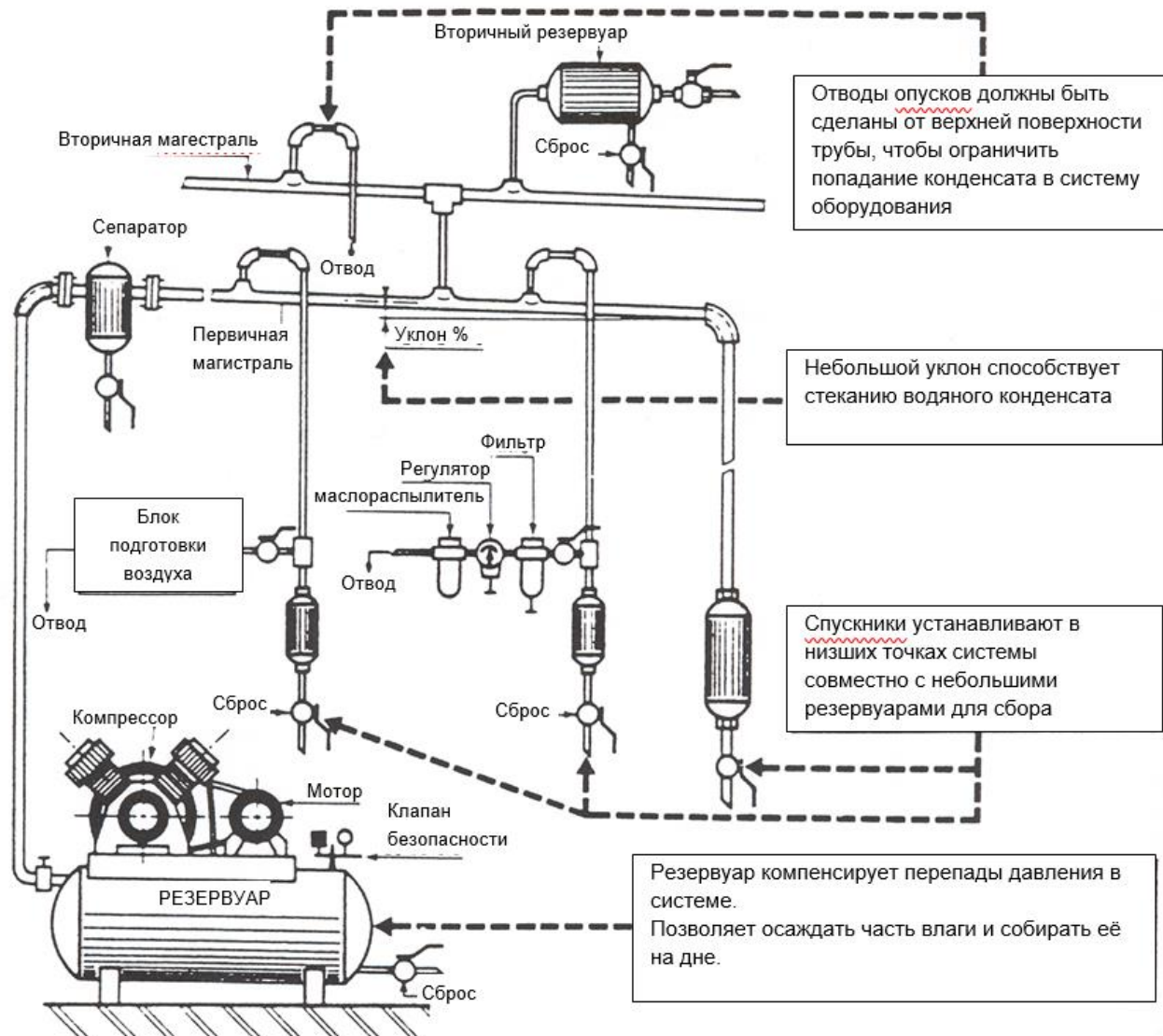


Рисунок 2.1.6 – Система подачи и распределения воздуха

Резервуар (ресивер) позволяет стабилизировать перепады давления воздуха в сети, а также служит для моментальной подачи большого объема воздуха к потребителю (рис. 2.1.7). Большая поверхность резервуара способствует охлаждению воздуха. Поэтому влага, содержащаяся в воздухе, быстро осажается и собирается на дне в виде воды.

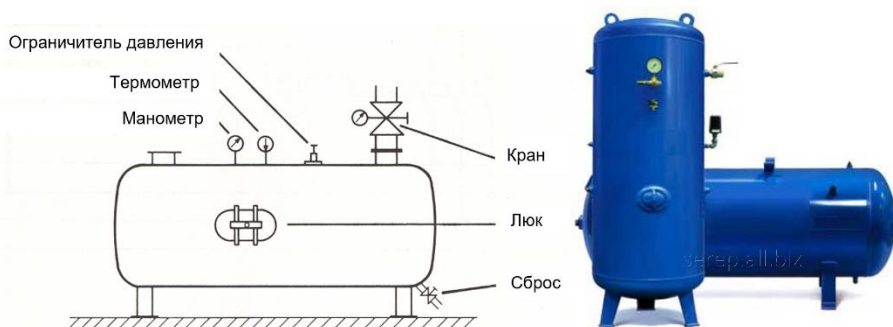


Рисунок 2.1.7 – Ресивер с арматурой

Защита от избыточного давления

Ограничитель давления или клапан аварийного сброса (рис. 2.1.8).

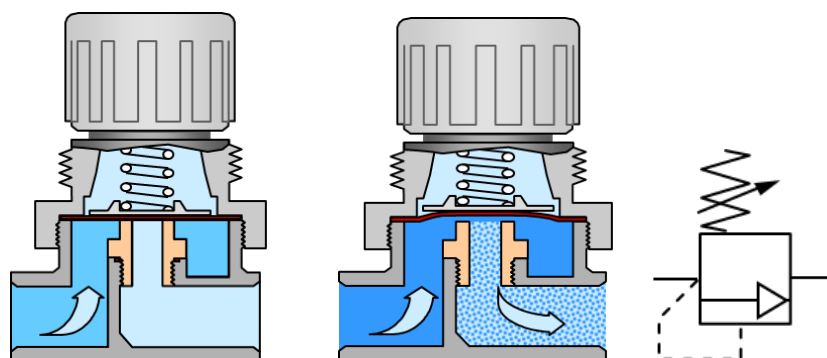


Рисунок 2.1.8 – Ограничитель давления или клапан аварийного сброса

Разрывной диск

Разрывные диски (рис. 2.1.9) обеспечивают мгновенную реакцию (в течение миллисекунд или микросекунд при очень малых размерах) на повышение или понижение давления в системе, но после разрыва диска он не будет повторно закрываться. Основные преимущества применения разрывных дисков по сравнению с использованием клапанов для сброса давления включают герметичность, стоимость, время срабатывания, ограничения по размерам, пропускную способность и простоту обслуживания.

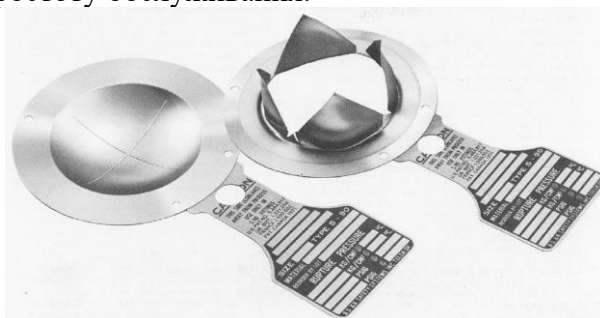


Рисунок 2.1.9 – Разрывной диск

Мембрана обычно изготавливается из металла, но для конкретного применения можно использовать практически любой материал.

Подготовка сжатого воздуха

Сжатый воздух содержит инородные тела, которые могут причинить ущерб пневматической автоматике.

Воздействие капель воды, пыли, остатки масла для смазки компрессоров, частицы ржавчины.

Влага попадает в систему в состоянии водяного пара забираемого из атмосферы вместе с воздухом на входе в компрессор.

Плохо удалённая и конденсированная вода, попавшая в трубопровод способна причинить следующий вред:

- коррозия труб
- коррозия элементов управления
- коррозия компонентов машины
- коррозия машин

Остатки компрессорного масла смешиваются с воздухом и образуют масляный туман, становясь взрывоопасной смесью при высоких температурах (выше 80°C).

Чтобы избежать ущерба, который может быть вызван содержанием примесей в сжатом воздухе для пневматических устройств, должно быть предусмотрено и установлено на трубопроводах следующее оборудование:

Входной фильтр

Охладители (осушители)

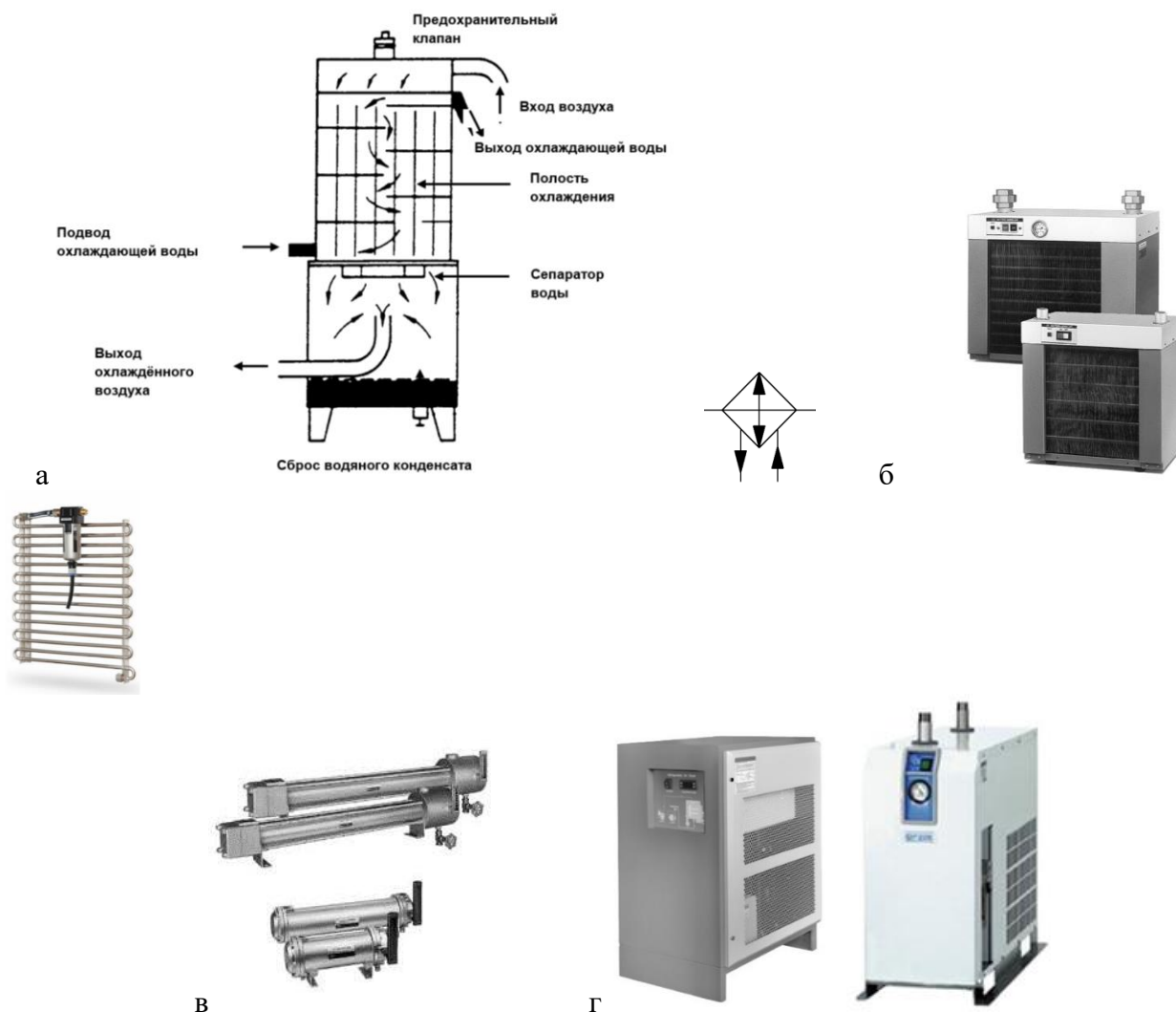
Роль фильтра установленного на заборе компрессора предупредить попадание загрязнений в компрессор.

Охладители, установленные после компрессора необходимы для удаления воды из воздуха (осушения). Охладитель нужен не только для очистки воздуха, главным образом он необходим для того, чтобы избежать случаев возможного самовоспламенения смеси воздуха с компрессорным маслом.

Для уменьшения количества влаги до уровня, регламентируемого требованиями к сжатому воздуху для определенных классов чистоты необходимы дополнительные устройства, называемые осушителями.

ОХЛАДИТЕЛЬ (ОСУШИТЕЛЬ)

Установка должна задерживать наиболее возможное количество водяного конденсата или частиц компрессорного масла. Конструкция водяного осушителя-охладителя представлена на рис. 2.1.10а. Варианты осушителей-охладителей с различными физическими принципами охлаждения показаны на рис. 2.1.10.



а – конструкция водяного осушителя-охладителя и обозначение на принципиальных схемах; б – охладители воздушного типа; в – охладители водяного типа; г – охладители-осушители рефрижераторного типа

Рисунок 2.1.10 – Осушители-охладители

В охладителях воздушного типа охлаждение воздуха осуществляют потоком воздуха, как правило подаваемого вентилятором при наличии развитой оребренной поверхности (рис. 2.1.10 б).

Конденсатно-фильтровальный агрегат (рис. 2.1.10 в) предназначен для частичного устранения влажности и отфильтровки загрязнений, содержащихся в сжатом воздухе путем охлаждения при теплообмене с охлаждающей водой.

Охладители-осушители рефрижераторного типа (рис. 2.1.10 г) используют специальные хладагенты и холодильный цикл и позволяют получить более низкую точку росы.

Абсорбционный и адсорбционный метод осушения воздуха

Абсорбент – твёрдые тела или жидкости, избирательно поглощающие (сорбирующие) из окружающей среды газы, пары или растворённые вещества.

Первый фильтр отделяет от воздуха наиболее крупные капли воды или масла. В процессе поступления в установку, поток воздуха отклоняется, создавая завихрения, и более тяжёлые частицы осаждаются на стенках сосуда, после чего стекают на его дно.

Осушительная камера заполнена абсорбирующим материалом, который удаляет остатки воды из воздуха. Абсорбент может быть использован на протяжении долгого времени, но всё же необходимо производить его замену через установленные интервалы.

Для обеспечения регенерации адсорбирующих материалов (например, силикогеля) необходимо отключать осушитель от линии, поэтому чтобы этого не нужно было делать используют две емкости с адсорбентом которые работают попеременно в цикле адсорбция-десорбция (регенерация).

Абсорбционный и адсорбционный осушитель показаны 2.1.11.

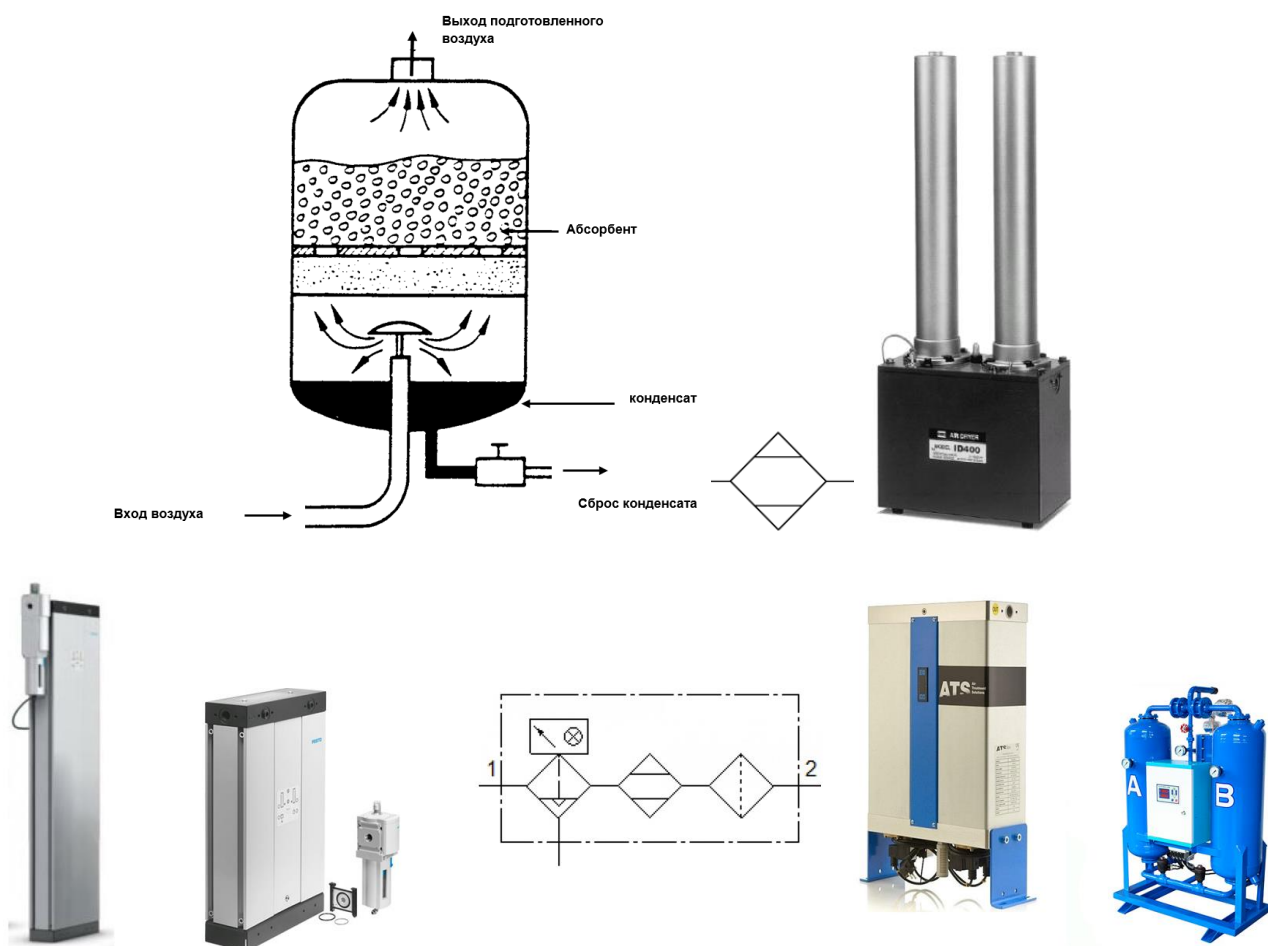
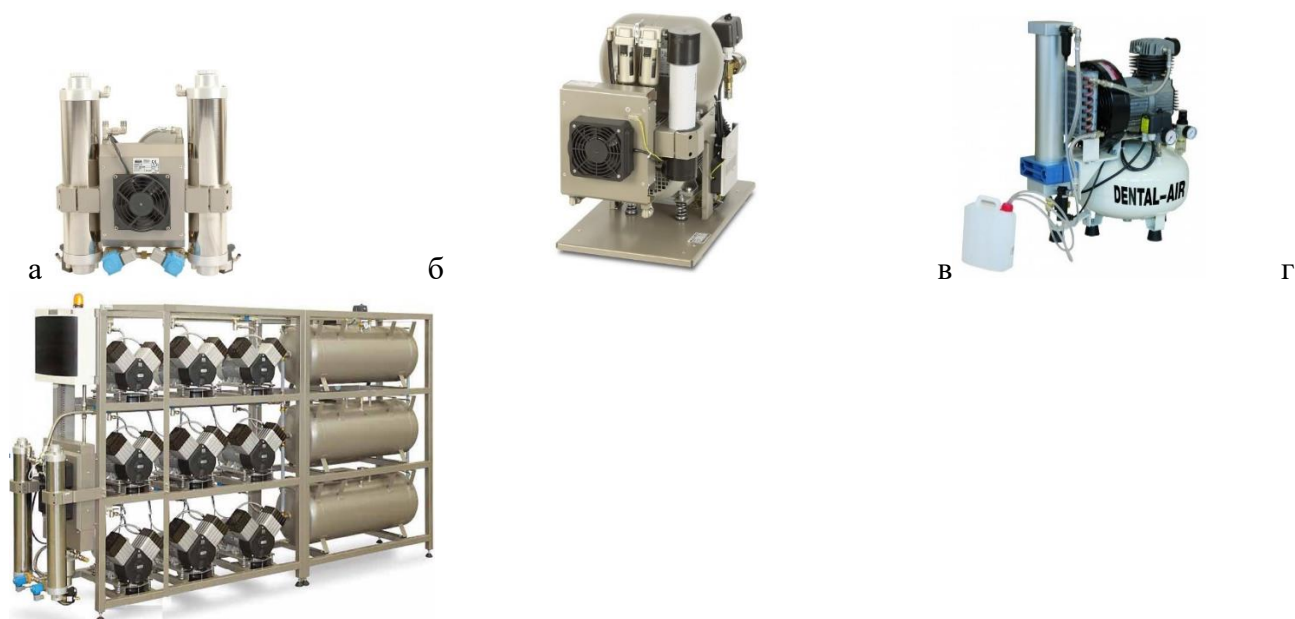


Рисунок 2.1.11 – Абсорбционный и адсорбционный осушитель

Примеры использования осушителей в оборудовании пневмосистем стоматологических и других медицинских кабинетов показаны на рис. 2.1.12.



а – адсорбционное устройство MONZUN; б – компрессор воздушный безмасляный Dental Air с осушителем; в – безмасляный компрессор ЕКОМ DK50-10 с осушителем воздуха; г – компрессорная единица DUPLEX с сушкой воздуха

Рисунок 2.1.12 – Примеры использования осушителей в оборудовании пневмосистем стоматологических и других медицинских кабинетов

ОТСЕЧНОЙ КЛАПАН (ИЗОЛИРУЮЩИЙ)

Отсечной клапан показан на рис. 2.1.13.

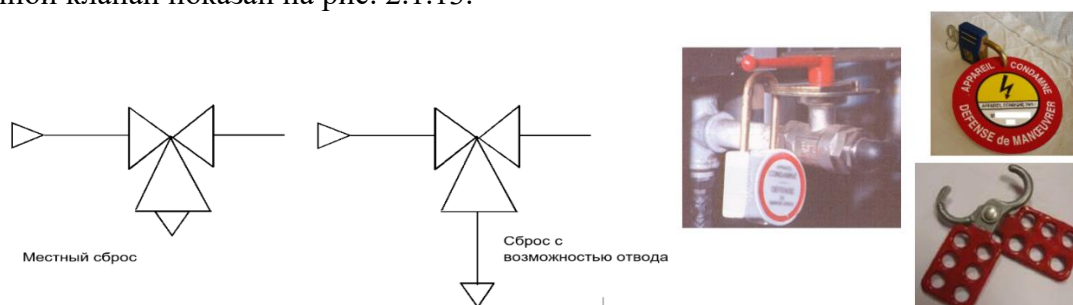


Рисунок 2.1.13 – Отсечной клапан

Предназначен, для отсечения от магистрали сжатого воздуха и сброса остаточного давления из установки. Открытие или закрытие клапана связано с подачей или снятием энергии.

Подготовка сжатого воздуха определяется требованиями к сжатому воздуху для определенного производства (табл. 2.1.1).

Таблица 2.1.1 – Классы чистоты воздуха (твердые частицы : вода : масло) по ISO 8573-1-2016

Клас с	Твердые частицы			мг/м ³	Вода		Масло
	максимальное количество в м ³				Точка росы, °С	Жидкость, г/м ³	Общее содержание
	0,1-0,5 МКМ	0,5-1 МКМ	1-5 МКМ				

							масла, мг/м ³
0	В соответствии с требованиями пользователя или поставщика оборудования, но более жесткие, чем для класса 1						
1	20000	400	10	-	до -70	-	0,01
2	400000	6000	100	-	до -40	-	0,1
3	-	90000	1000	-	до -20	-	1
4	-	-	10000	-	до +3	-	5
5	-	-	100000	-	до +7	-	-
6	-	-	-	5	до +10	-	-
7	-	-	-	5-10	-	до 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5-5	-
9	-	-	-	-	-	5-10	-
X	-	-	-	>10	-	>10	>10

Во многих отраслях промышленности предъявляются строгие требования к качеству сжатого воздуха. Пример: упаковка пищевых продуктов (класс 1:4:1), прямой контакт с сухими продуктами (класс 1:2:1), окрасочное оборудование (класс 1:4:2).

Микробиологические загрязнения или загрязнения газами следует добавлять дополнительно к обозначениям приведенным в табл. 2.1.1, вид и величины загрязнений представлены в ИСО 8573-6 и 8573-7.

Величина фильтрации – это величина наименьших частиц, задерживаемых фильтром. Пример: 40 мкм для стандартных применений, 5 мкм для более точных устройств. Производитель также указывает максимальное рабочее значение давления, которое способен выдержать фильтр.

Для корректной работы устройства при установке необходимо соблюдать направление прохода воздуха через фильтр (от входа к выходу, IN → OUT). На рис. 2.1.14 представлены разновидности фильтров и маслораспылитель.

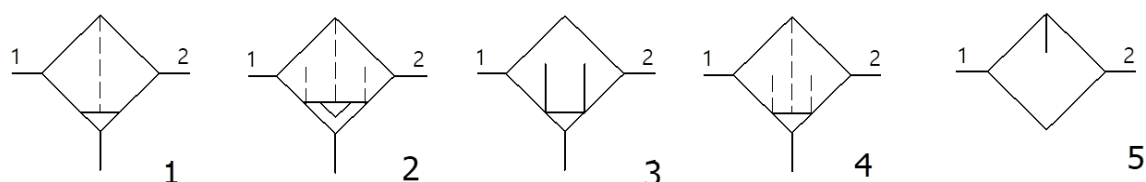


Рис. 2.1.14 – Разновидности фильтров и маслораспылитель: 1 – фильтр с ручным сбросом конденсата; 2 – фильтр с автоматическим сбросом конденсата; 3 – микрофильтр маслоуловитель; 4 – субмикрофильтр; 5 – маслораспылитель (лубрикатор)

На рисунке 2.1.15 представлены конструкции фильтра-влагоотделителя и маслораспылителя.

Маслораспылитель должен быть как можно ближе к потребителям. Движение воздуха через суживающийся канал маслораспылителя образует эффект Вентури и поднимает масло по каналу 1 (рис. 2.1.15б) с регулировкой расхода при помощи винта 2. Капли 3 распыляются и переносятся воздухом.

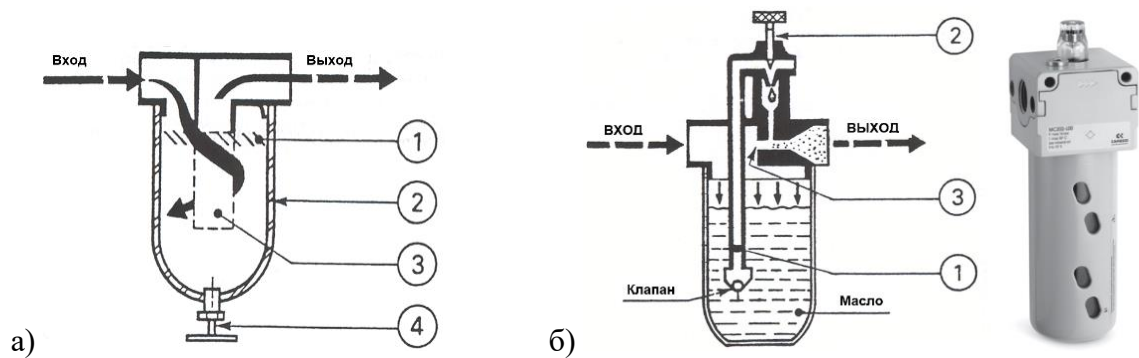


Рис. 2.1.15 – Конструкции фильтра-влажнотделителя (а) и маслораспылителя (б)

Дефлектор 1 (рис. 2.1.15а) создает турбулентное движение воздуха. Крупные частицы, имеющие большую инерцию движения отбрасываются на стенки корпуса 2 и собираются на его дне. Более мелкие частицы отделяются при помощи фильтр-патрона 3. Очистка производится через спускное отверстие 4 вручную или автоматически.

Стандартные фильтры (рис. 2.1.16) (пример параметров: тонкость фильтрации – 5 мкм; расход воздуха – до 10 000 нл/мин; ручной или автоматический отвод конденсата; пригоден для модульного монтажа) могут использовать как окончательные и как предварительные фильтры в зависимости от требований к подготовке воздуха.

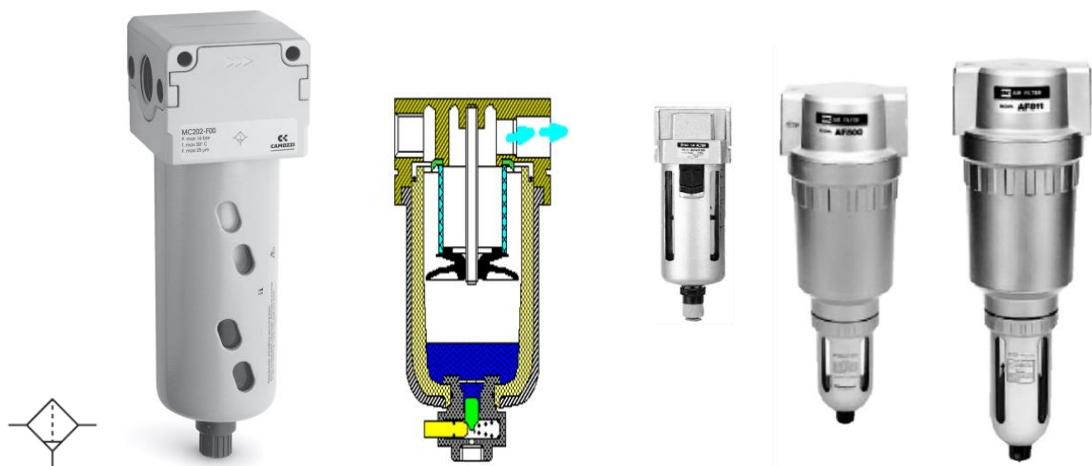


Рисунок 2.1.16 – Стандартные фильтры

Фильтр с активированным углем и магистральные микрофильтры показаны на рис. 2.1.17.

Типичные параметры магистральных микрофильтров: тонкость фильтрации – 0,3 мкм; срок службы фильтрующего элемента – 2 года; расход – от 300 до 12 000 нл/мин; содержание масла на выходе – не более 1 мг/м³. Фильтры имеют встроенный индикатор перепада давления.

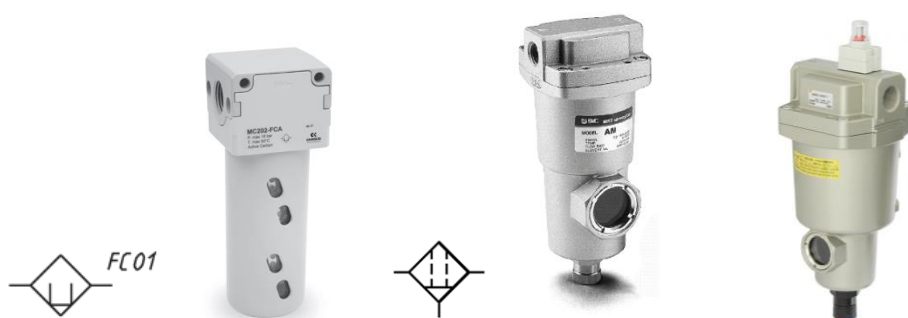


Рисунок 2.1.17 – Фильтр с активированным углем и магистральные микрофильтры

Тонкость фильтрации магистральных субмикрофильтров, фильтров сверхтонкой очистки и фильтров запахопоглотителей составляет 0,01 мкм.

Магистральные субмикрофильтры показаны на рис. 2.1.18.

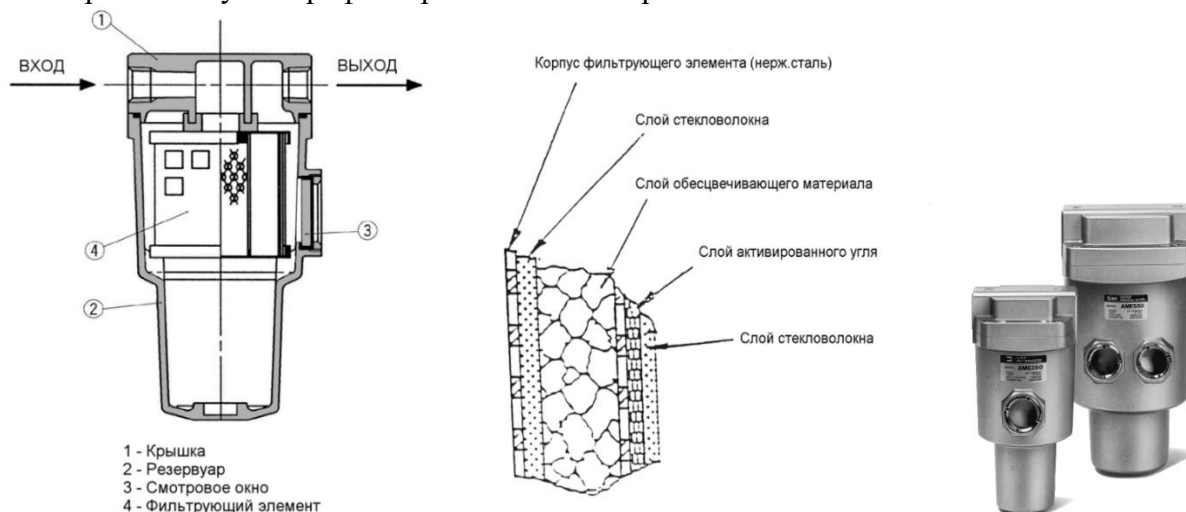


Рисунок 2.1.18 – Магистральные субмикрофильтры

Устройства автоматического отвода конденсата

Конденсат стекает в нижнюю часть корпуса. В результате накопления конденсата наступает момент, когда поплавок всплывает, поднимая клапан и открывая торцевое отверстие центральной трубки. Давление воздуха из корпуса передаётся по через фильтр к поршню. Поршень смещается вправо, сжимая возвратную пружину. Клапан открывается, выпуская конденсат. Благодаря удалению конденсата поплавок опускается в исходное положение. Устройство автоматического отвода конденсата (серии EAD, ADH) показано на рис. 2.1.19.

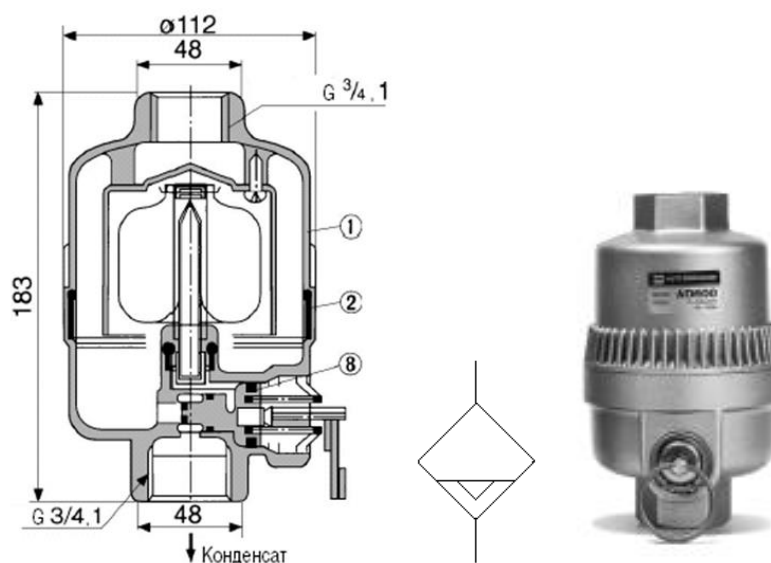


Рисунок 2.1.19 – Устройство автоматического отвода конденсата (серии EAD, ADH)

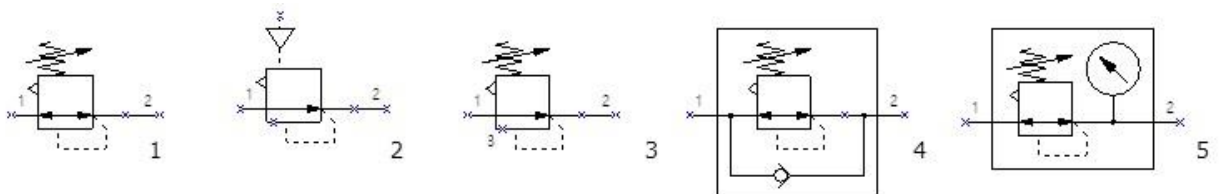
На рисунке 2.1.20 изображена конструкция, внешний вид и условное графическое изображение регулятора давления.



Рисунок 2.1.20 – Регулятор давления

Рукоять для регулировки 1 позволяет, через промежуточную пружину 2 и диафрагму 3, регулировать момент открытия клапана 4, который обеспечивает проход воздуха из системы с первичным давлением P_1 в систему с вторичным давлением P_2 . Давление, устанавливаемое под диафрагмой 3, которая управляет клапаном 4, переходит в уравнивающее положение и поддерживает постоянное давление.

Обозначение различных регуляторов давления на принципиальных схемах показано на рис. 2.1.21.



1 – регулятор давления; 2 – прецизионный регулятор с пневморегулированием; 3 – прецизионный регулятор; 4 – регулятор давления с обратным клапаном; 5 – регулятор давления с манометром

Рисунок 2.1.21 – Обозначение различных регуляторов давления на принципиальных схемах

Регулятор без сброса сам не может снизить давление на выходе, если оно, как это иногда случается, поднимается выше заданного уровня, или если регулировка установочной пружины изменена в сторону более низкого давления. Единственное, что регулятор делает в этом случае - полное закрытие клапана, в результате чего поступление воздуха в систему прекращается. Дальше остается ждать, пока воздух частично вытечет из системы, и давление опустится до требуемого уровня.

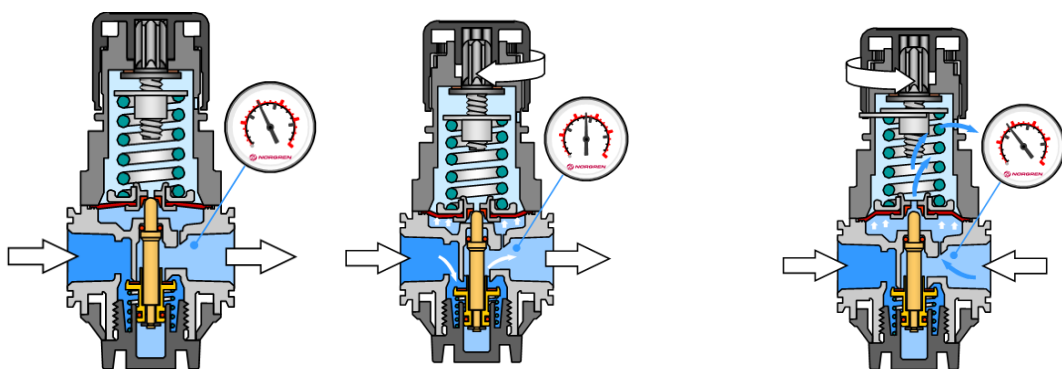


Рисунок 2.1.22 – Регулятор давления

Конструкция регулятора, показанная на рис. 2.1.22 и 2.1.23, позволяет сбросить избыток воздуха из системы, приведя выходное давление к требуемому уровню. При повышенном давлении диафрагма поднимается, так как она более не прикреплена к клапану. Конический вкладыш в диске 2 диафрагмы 1 и сферический конец штока клапана формируют перепускной клапан, который при подъеме диафрагмы 1 сбрасывает выходное давление в атмосферу через выпускное отверстие 3.

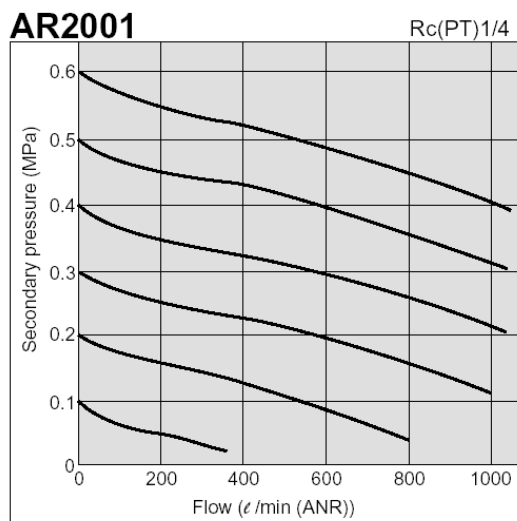
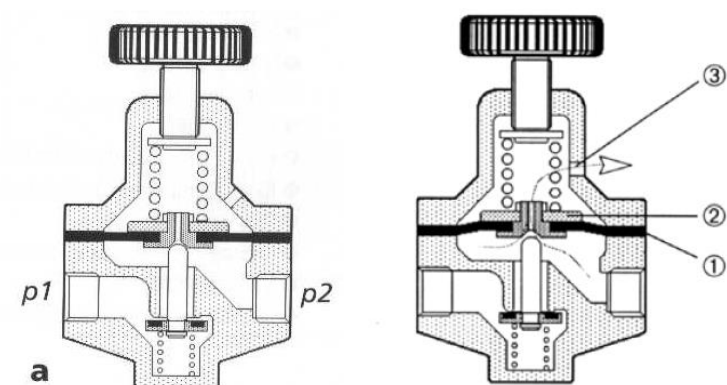
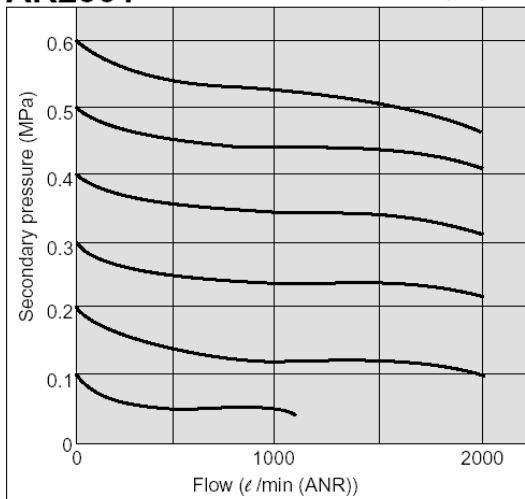
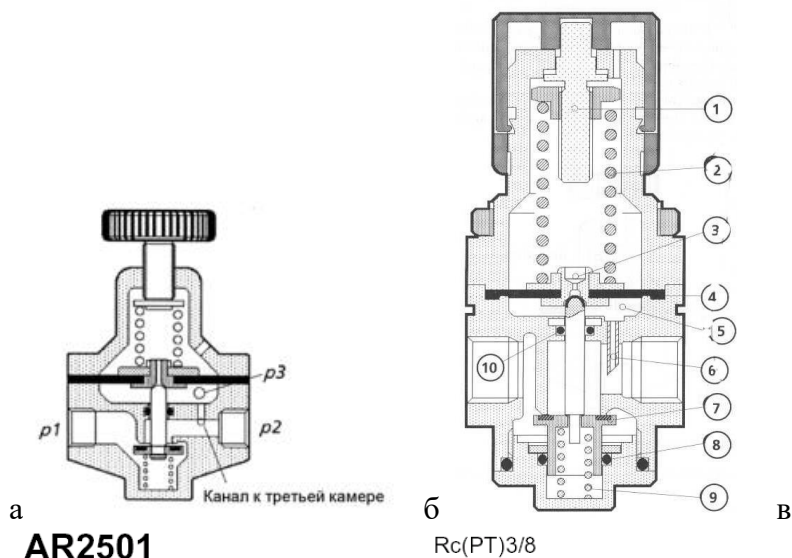


Рисунок 2.1.23 – Стандартный регулятор давления

Сохранить баланс сил путем уменьшения силы, которая сопротивляется установочной пружине, означает, что эта сила должна уменьшаться пропорционально ослаблению установочной пружины.

Это означает, что давление на нижней стороне диафрагмы должно быть ниже, чем выходное давление, и это различие тем существеннее, чем выше расход. Это достигается добавлением третьей камеры, как показано на рисунке 2.1.24а. Диафрагма больше не испытывает воздействие вторичного давления (P2), а испытывает воздействие давления P3 в третьей камере.

Третья камера соединена с выходом регулятора. Простейшим конструктивным решением является канал, выполненный в стенке корпуса регулятора (см. рис. 2.1.24 а, б).



1 – регулировочный винт, 2 – пружина, 3 – клапан сброса, 4 – диафрагма, 5 – третья камера, 6 – сифонная трубка, 7 – клапан, 8 – уплотнение, 9 – пружина, 10 – уплотнение
 Рисунок 2.1.24 – Регулятор давления с компенсацией по расходу

На рисунке 2.1.25 представлен прецизионный регулятор давления фирмы SMC. В данном регуляторе управляющее давление на главной диафрагме 5 задается не пружиной, а выходным давлением первичного (пилотного) регулятора.

При отсутствии давления главный клапан закрыт пружиной 7. То же относится к клапану пилотного регулятора 3, если его пружина 2 полностью разжата.

Теперь рассмотрим ситуацию, когда давление P1 подается на вход регулятора, но расхода нет. P1 достигает обоих закрытых клапанов 3 и 8. Нагруженная при помощи регулировочной ручки 1 вторая пружина открывает клапан 3 и позволяет воздуху попасть в соединительные камеры между диафрагмами. Теперь очевидны преимущества воздушной пружины в главном регуляторе. Клапан 8 полностью откроется и позволит воздуху попасть в контур, подсоединенный к выходу. Как только вторичное давление P2 повысится, клапаны 3 и 8 закроются.

Представим, что расхода по-прежнему нет, при этом давление установочной пружины 2 постепенно уменьшается с целью снижения P2. Усилие на верхнюю сторону диафрагмы пилотного регулятора 4 становится меньше, чем пилотное давление под ней. Диафрагма поднимается и сбрасывает избыточное пилотное давление через отверстие для сброса воздуха.

Теперь представим себе, что P_2 стало выше, чем пилотное давление. Тогда диафрагма 5 поднимется, позволяя сбросить избыточное давление P_2 через полый шток клапана 9 до тех пор, пока снова не установится баланс сил, действующих на диафрагму.

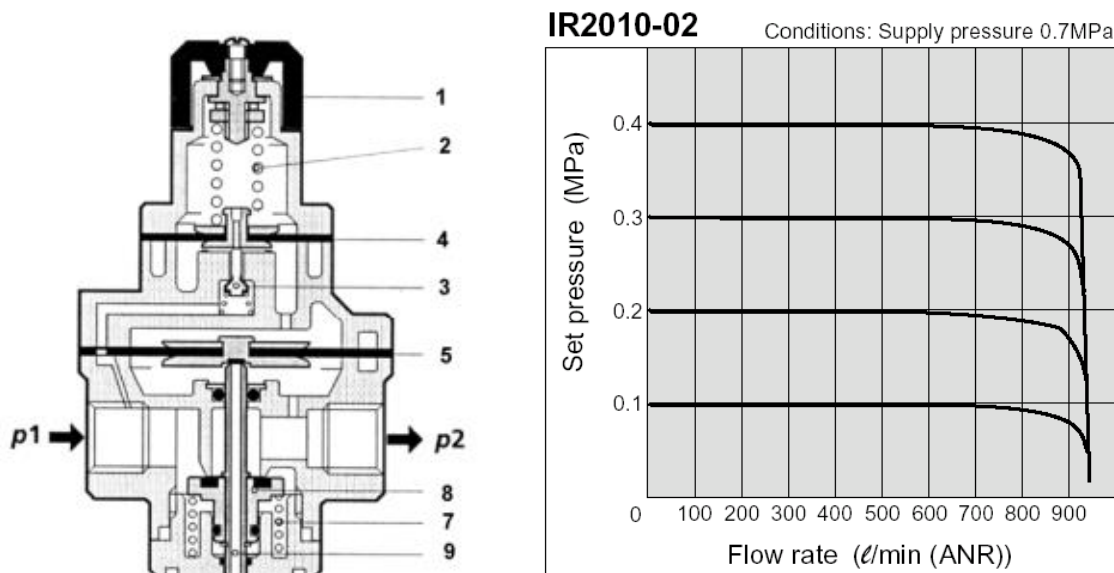


Рисунок 2.1.25 – Прецизионный регулятор давления фирмы SMC

Разновидности регуляторов давления показаны на рис. 2.1.26.



Рисунок 2.1.26 – Регулятор давления REG 1.1 (а), SMC EAR (б) и КАМАЗ 100-3512010-10 (в)

Ручной клапан (рис. 2.1.27а) предназначен для подачи давления в систему и сброса сжатого воздуха из системы в атмосферу при отключении. Клапан переключается поворотной рукояткой. В канал 3 можно установить глушитель и/или шланг для отвода сбрасываемого воздуха. Рукоятка клапана в положении «Подача воздуха перекрыта» может быть заблокирована замком.

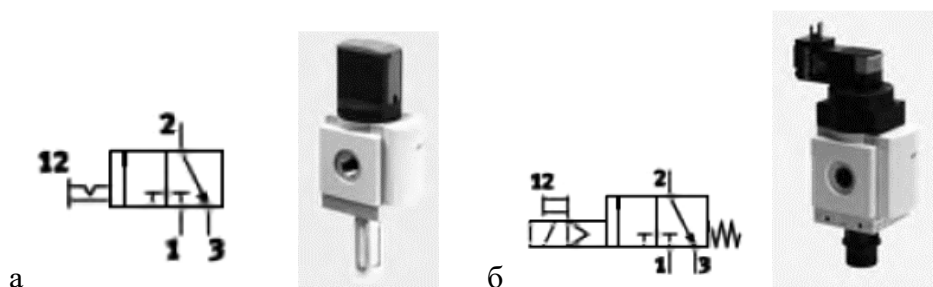


Рис. 2.1.27 – Клапаны подачи/сброса давления

Клапан с электромагнитным управлением (рис. 2.1.27б) предназначен для подачи давления в систему и сброса сжатого воздуха из системы в атмосферу при отключении. Также имеется ручное дублирование поворотом с фиксацией.

Клапаны плавного пуска (рис. 2.1.28) предотвращают внезапные и резкие перемещения. Полное включение происходит после набора 50% входного давления.

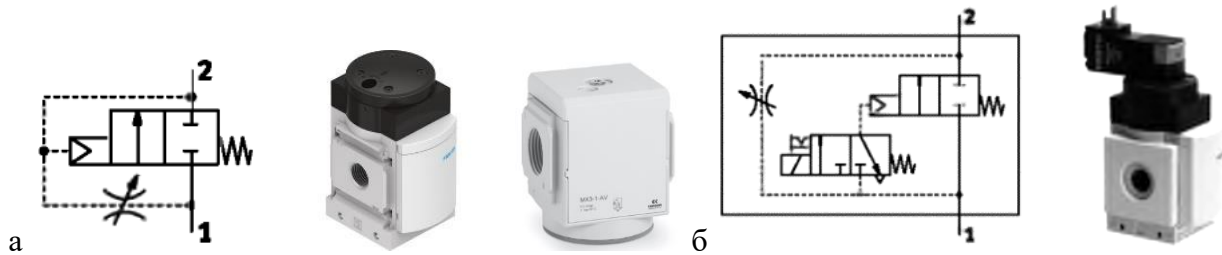


Рис. 2.1.28 – Клапаны плавного пуска

Для клапана плавного пуска (рис. 2.1.28а), выходное давление p_2 растет в соответствии с настройкой дросселя. Главный клапан открывается, когда давление достигает значение срабатывания.

Для клапана плавного пуска (рис. 2.1.28б), когда электромагнитный клапан выключен, воздух подается только через дроссель. Главный клапан открывается только при подаче сигнала на катушку. Если напряжение с катушки снять, главный клапан закроется, и подача воздуха в систему будет идти только через дроссель.

Для быстрого сброса воздуха из системы электромагнитный клапан должен оставаться включенным, т.к. при этом воздух беспрепятственно проходит с выхода 2 на вход 1.

Условное обозначение комбинации элементов блока подготовки воздуха, состоящего из воздушного фильтра, регулятора давления, манометра и маслораспылителя и его упрощенное обозначение представлены на рис. 2.1.29.

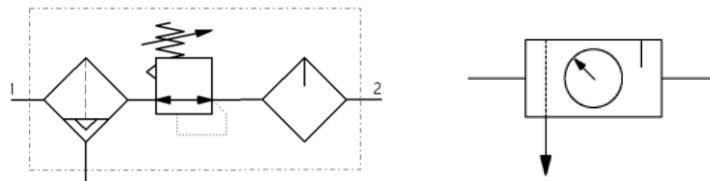
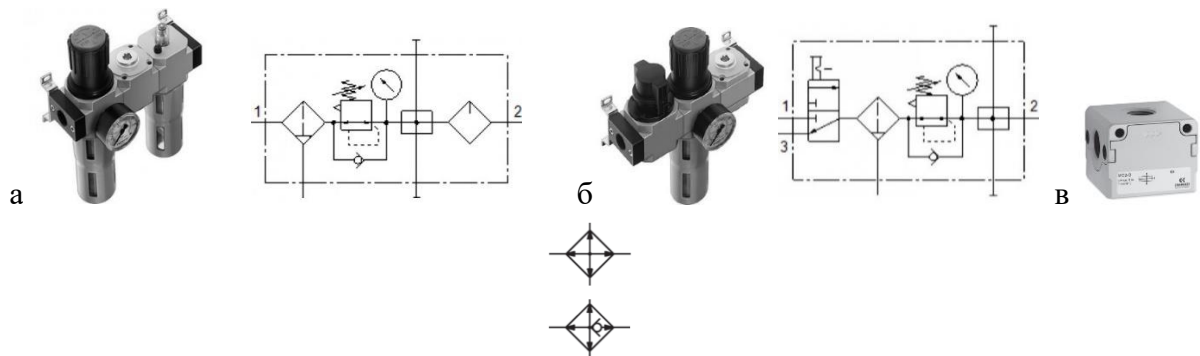


Рис. 2.1.29 – Блок подготовки воздуха и его упрощенное обозначение

Комбинации блоков подготовки воздуха показаны на рис. 2.1.30.



а – комбинация блока с дополнительной возможностью отбора воздуха до маслораспылителя; б – блок без маслораспылителя с клапаном подачи/сброса давления; в – коллектор и его возможные варианты

Рисунок 2.1.30 – Комбинации блоков подготовки воздуха

Ниже представлена комбинация фильтра влагоотделителя, регулятора давления, маслораспылителя и клапана плавного пуска (рис. 2.1.31).

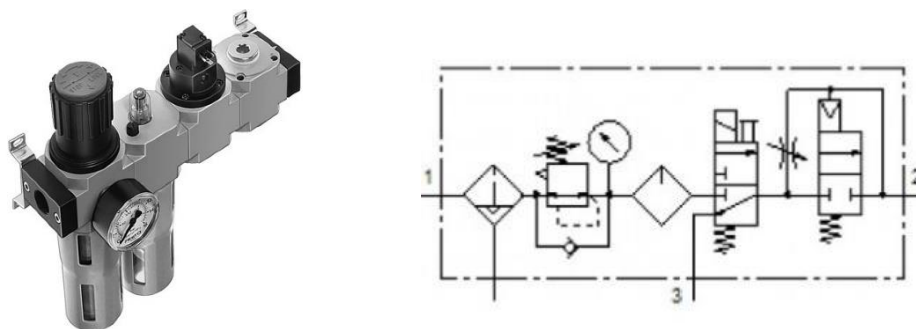
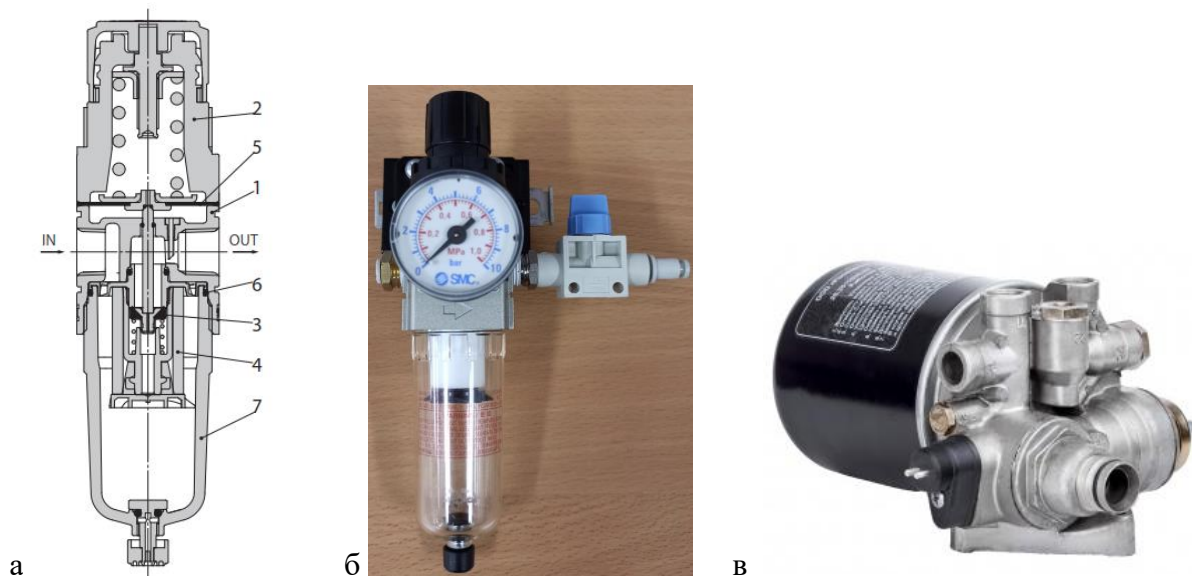


Рисунок 2.1.31 – Вариант исполнения блока подготовки воздуха с клапаном плавного пуска

Влагомаслоотделитель с подогревом со встроенным регулятором давления (рис.2.1.32 в) может использоваться на всех автотранспортных средствах с пневмоприводом. Предназначен для автоматического поддержания рабочего давления пневматического привода в заданных пределах, для защиты пневмосистемы от перегрузки, а также для очистки сжатого воздуха от влаги и масла с целью предотвращения замерзания и отказа аппаратов тормозного привода автомобиля. Аппарат оснащён сменным унифицированным адсорбирующим патроном, подогревателем разгрузочного узла. Имеется возможность оснащения выпускного патрубка разгрузочного узла встроенного регулятора давления шумоглушителем.



а – конструкция блока подготовки воздуха; б – внешний вид блока подготовки воздуха; в – влагомаслоотделитель с подогревом со встроенным регулятором давления для тормозной системы

1 – корпус; 2 – кожух; 3 – клапан в сборе; 4 – фильтрующий элемент; 5 – мембрана в сборе; 6 – уплотнение; 7 – резервуар

Рисунок 2.1.32 – Конструкция и внешний вид блоков подготовки воздуха

Блок подготовки с фильтром-влагоотделителем, регулятором давления и манометром в разобранном виде показан на рис. 2.1.33.



Рисунок 2.1.33 – Блок подготовки с фильтром-влагоотделителем, регулятором давления и манометром в разобранном виде

Характеристики фильтров представлены на рис. 2.1.34.

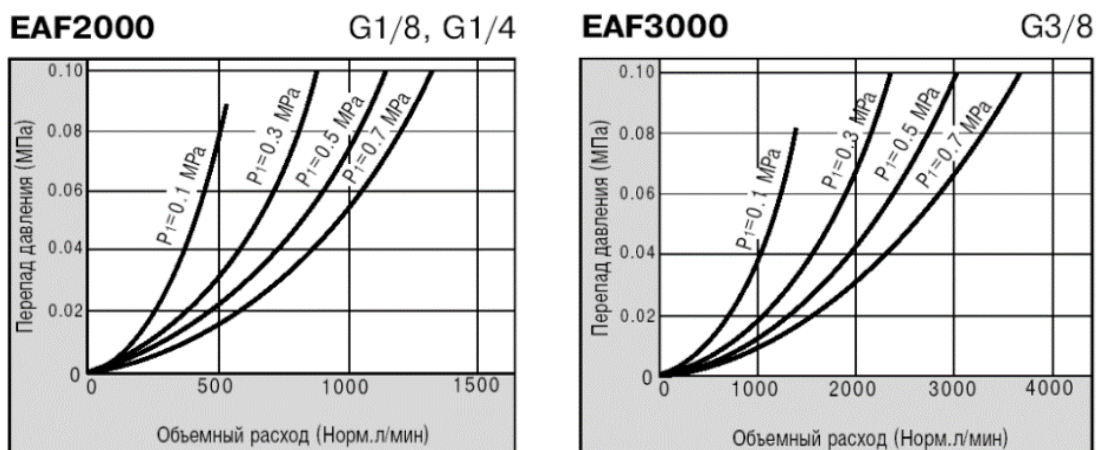


Рис. 2.1.34 – Характеристики фильтров

Тема 2.2 Основные понятия о трубопроводах и арматуре, расчет трубопроводов

Трубопроводы

Пневмолинии реализуют по схемам незамкнутой линии с установкой ресивера на конце пневмолинии, кольцевой и матричной схемам.

Требования к трубопроводам: обеспечить небольшой уклон трубопровода (1 см на 2 метра длины); отводы необходимо монтировать сверху трубопроводов; обеспечить уплотнение в разъёмах; избегать больших сужений (развилки, изгибы).

При возможном изменении температуры среды обязательна нужна компенсация изменения длины трубопровода при температурном воздействии.

Полужёсткая подводка изготавливается на базе пластичных материалов. Мягкая подводка (гибкая) изготавливается из мягких пластиков или каучука и усиливается дополнительной оплёткой.

В зависимости от протяженности пневмолиний и вида производства отдельные части сетей сжатого воздуха могут выполняться из труб различных диаметров и из различных материалов.

Конденсат выпадающий вследствие сжатия и охлаждения атмосферного воздуха вызывает внутреннюю коррозию труб, а использование эффективных влагоотделителей и осушителей не всегда экономически оправдано, поэтому пневматические линии необходимо по возможности собирать из материалов стойких к коррозии.

Трубопроводы из обычных черных сталей подвержены коррозии, а как показывает практика и при использовании оцинкованных труб спустя какое-то время начинают появляться продукты коррозии.

Для проектирования пневмолиний могут использоваться следующие варианты труб:

1) Стальные трубы из некоррозионных марок стали. Достоинство данного варианта возможность применения при высоких давлениях и низкая цена труб. Однако данный вариант имеет ряд недостатков основным, из которых является, то что трубы подвержены коррозии. При попадании мелких частиц вследствие некачественного монтажа, а также продуктов коррозии в пневмоэлементы возможно нанесение ущерба пневмооборудованию. При монтаже часто используют сварочные работы с остановкой производства. Большой вес трубопроводов осложняет монтаж и требует более дорогих креплений. Также трубы имеют большое сопротивление воздушному потоку.

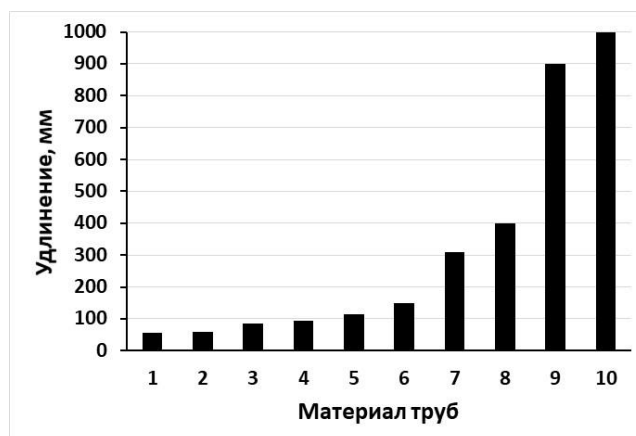
2) Трубы из нержавеющей стали. Достоинством их использования является устойчивость к коррозии и прочность. Имеют недостатки, связанные с монтажом характерные для других стальных труб, однако они еще и имеют высокую цену.

3) Пластиковые трубы. Достоинством пластиковых труб является отсутствие коррозии, они имеют небольшой вес, удобство монтажа пневмолиний. Сопротивление воздушному потоку относительно низкое. Недостатком пластиковых труб является высокий коэффициент линейного расширения при перепадах температуры, что приводит к необходимости учитывать это при выборе креплений и использовать компенсаторы. Трубопроводы из пластиковых труб не рассчитаны для работы с высокими давлениями и нестойки к высоким температурам. Трубы из наиболее часто применяемых пластиков имеют большую вероятность механических повреждений, чем металлические. Пластмассы, используемые для изготовления труб, могут быть полиэтиленовые (PE), полипропиленовые (PPR), полиамидные (PA), поливинилхлоридные (PVC), акрилонитрилбутадиенстироловые (ABS). Максимальное расчетное давление трубы как правило указано в ее спецификации (например, PN16 означает, что максимальное расчетное давление составляет 16 бар).

4) Алюминиевые трубы. Устойчивы к коррозии, легкие, имеют низкое сопротивление воздушному потоку. Цена может быть сравнима с некоторыми пластиковыми, но алюминиевые трубы плохо представлены на рынке в отличие от пластиковых.

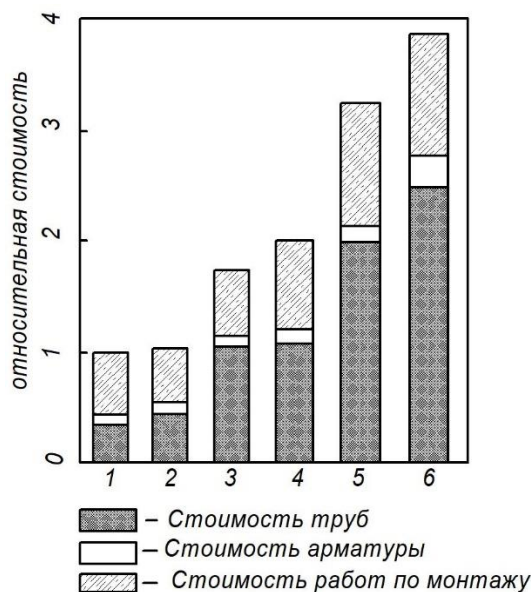
5) Медные и латунные трубы. Трубы устойчивы к коррозии. Имеются сложности монтажа пневмолиний и высокая стоимость.

Рисунки 2.2.1 и 2.2.2 иллюстрируют различия в ключевых характеристиках труб из различных материалов.



1 – нержавеющая сталь; 2 – сталь; 3 – медь; 4 – латунь; 5 – алюминий; 6 – полипропилен с алюминием; 7 – полипропилен со стекловолокном; 8 – поливинилхлорид; 9 – полипропилен; 10 – полиэтилен

Рисунок 2.2.1 – Величина удлинения трубы длиной 100 м выполненной из разных материалов



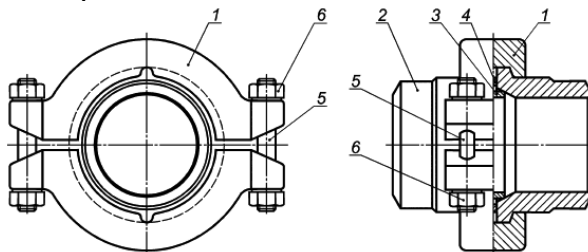
1 – углеродистая сталь; 2 – полиэтилен; 3 – армированный полипропилен; 4 – ПВХ; 5 – медь; 6 – нержавеющая сталь

Рисунок 2.2.2 – Относительная стоимость трубопровода, выполненного из различных материалов

Возможно сочетание на различных участках труб из различных материалов.

Способы соединения трубопроводов, а также гибкой подводки и шлангов

Соединения трубопроводов могут быть неразъемными (при помощи сварки и пайки) и разъемными. Для трубопроводов больших диаметров могут применять бугельные разъемные соединения (рис.2.2.3), а также фланцевые соединения.



1 - бугель; 2 - соединяемая деталь; 3 - уплотнительное кольцо; 4 - упорное кольцо; 5 - шпилька; 6 - гайка

Рисунок 2.2.3 – Конструкция бугельного соединения

Для гибкой подводки и шлангов, а также медных труб и подводки широко применяют соединения с использованием стяжной гайки которая плотно фиксирует шланг или трубу на конусе. Для быстрого подключения шлангов, рукавов и других частей промышленного оборудования применяют быстроразъемные соединения с муфтой или кнопкой для разблокировки.

Фланцевое соединение (рис. 2.2.4) – это соединение труб, в котором соединительные детали имеют фланцы, которыми детали скрепляются болтами. Между фланцами участков устанавливают специальные прокладки.

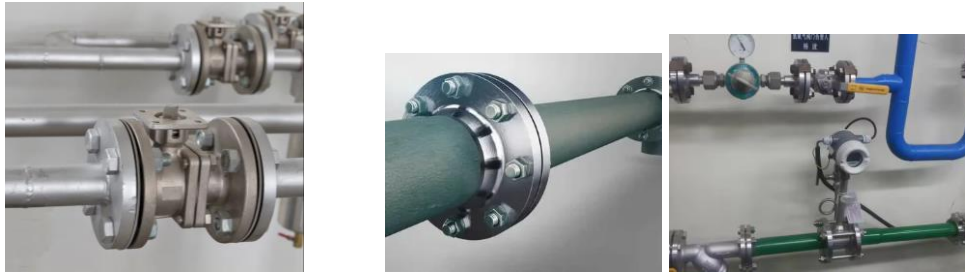
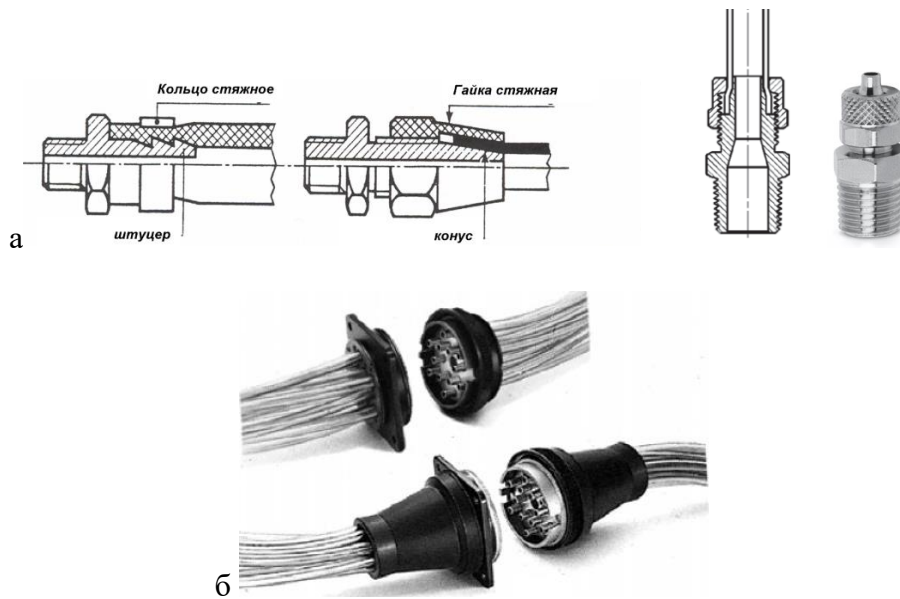


Рисунок 2.2.4 – Фланцевое соединение

Соединения для гибкой подводки и шлангов представлены на рис. 2.2.5.



а – соединения со стяжным кольцом и гайкой; б – многоканальные разъемы
Рисунок 2.2.5 – Соединения для гибкой подводки и шлангов (резина, пластик)

Соединения для медных труб и подводки показаны на рис. 2.2.6.

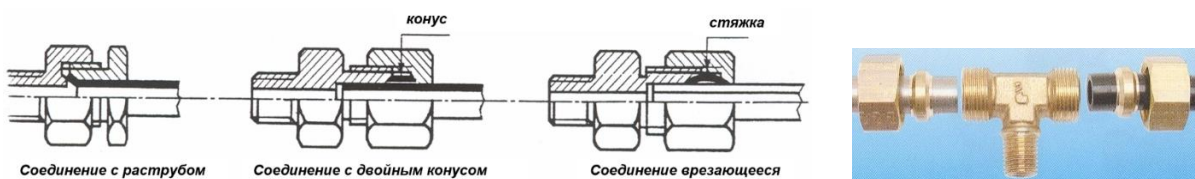
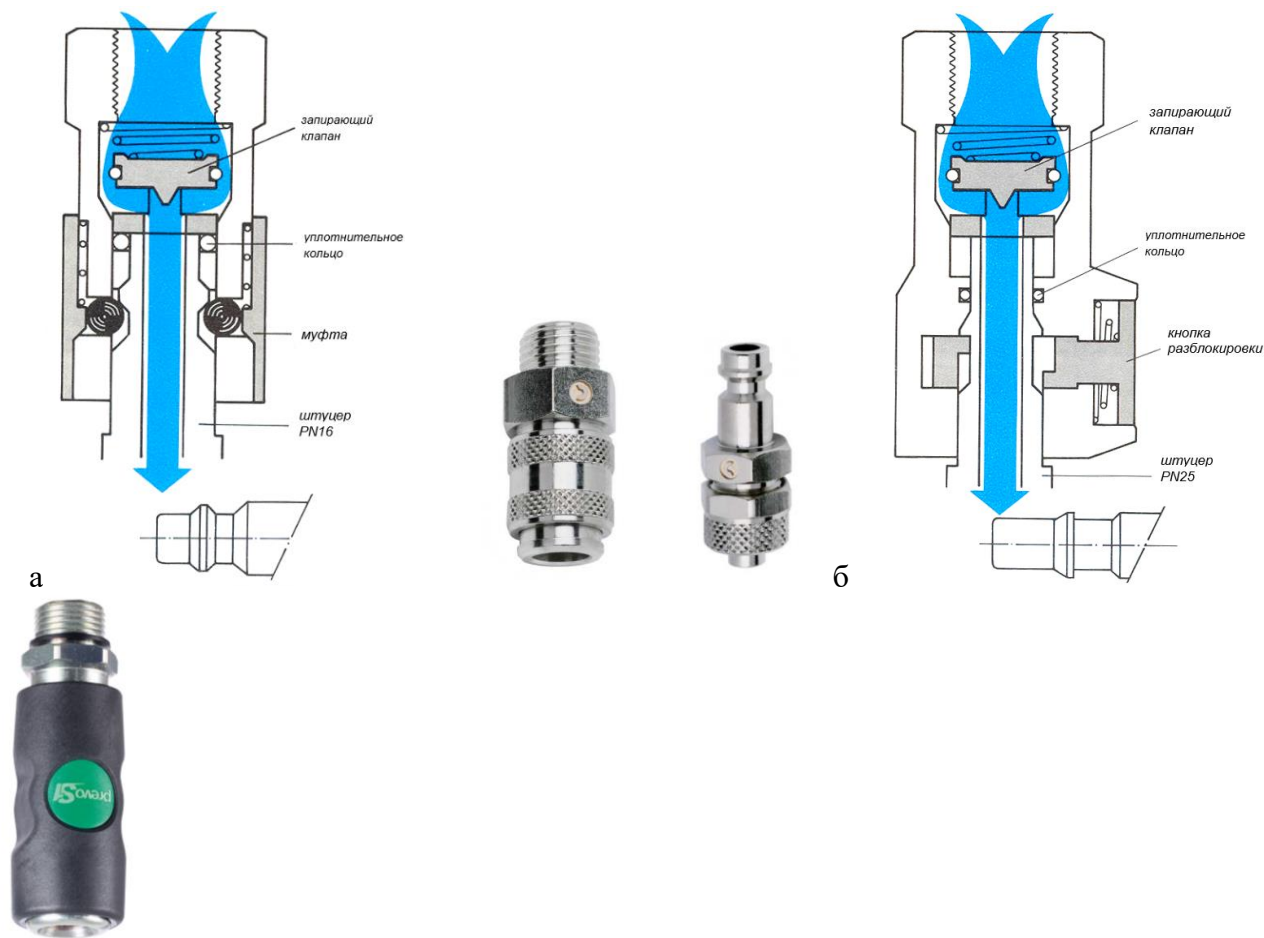


Рисунок 2.2.6 – Соединения для медных труб и подводки

БЫСТРОРАЗЪЁМНОЕ СОЕДИНЕНИЕ

Быстроразъемное соединение (рис. 2.2.7) является элементом соединения шлангов, рукавов и других частей промышленного оборудования, позволяющее произвести быстрое снятие (установку) их с (на) оборудования.



а – соединение с муфтой; б – соединение с кнопкой
 Рисунок 2.2.7 – Быстроразъемные соединения

Цанговое соединение представлено на рис. 2.2.8.

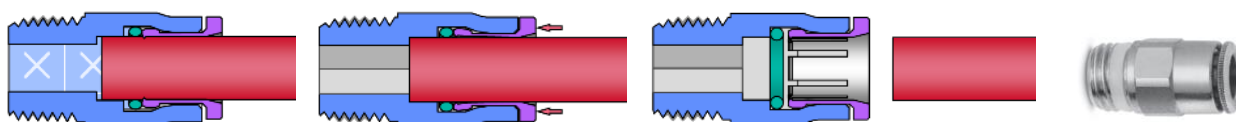



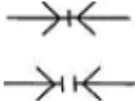

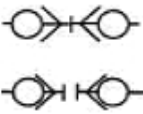


Рисунок 2.2.8 – Цанговое соединение

Обозначения соединений трубопроводов на схемах представлено в табл. 2.2.1.

Таблица 2.2.1 – Обозначения соединений трубопроводов на схемах

обозначение	Вид соединения	обозначение	Вид соединения
	Общее обозначение разъемного соединения		Штуцерное резьбовое соединение
	Место присоединения (для отбора энергии или измерительного прибора):		Муфтовое резьбовое

	несоединенное заглушено		
	Фланцевое соединение		Муфтовое эластичное
	Поворотное соединение		Быстроразъемное соединение без запор- ного элемента: несоединенное соединение
	Компенсатор		Быстроразъемное соединение с запор- ным элементом: несоединенное соединение

Расчет трубопроводов

Последовательность расчета трубопровода: по заданному расходу определяется ориентировочная величина внутреннего размера трубопровода; определяются суммарные потери давления в трубопроводе; суммарные потери давления сравниваются с допустимыми, при значительном расхождении необходимо изменить диаметр трубопровода и сделать перерасчет.

Величина суммарных потерь давления в трубопроводе, без учета инерции среды, определяется по формуле:

$$\Delta p = \sum \Delta p_m + \sum \Delta p_{\text{л}}$$

где Δp_m – потери давления на трение по длине трубопровода; $\Delta p_{\text{л}}$ – потери давления на местных сопротивлениях.

$$\Delta p_m = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{Q^2}{S^2},$$

где λ – коэффициент потерь давления на трения; l – длина трубопровода, м; d – диаметр трубопровода, м; ρ – плотность газа, кг/м³; Q – расход газа, м³/с; S – площадь живого сечения потока среды, м².

Иллюстрация турбулентного и ламинарного режима течения представлена на рис. 2.2.9.

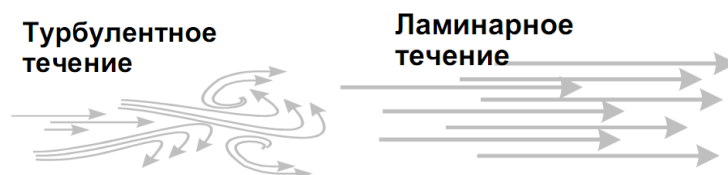


Рисунок 2.2.9 – Иллюстрация турбулентного и ламинарного режима течения

При турбулентном режиме течения для области гидравлически гладких труб $\lambda=0,3164/\text{Re}^{0,25}$ ($\text{Re} \geq 2320$). Для трубопроводов круглого сечения

$$Re = V \cdot d / \nu$$

где V – скорость потока среды, м/с; ν – коэффициент кинематической вязкости среды, м²/с.

Коэффициент трения λ зависит от характера течения (ламинарное или турбулентное) и числа Рейнольдса, а при турбулентном течении – еще и от коэффициента шероховатости Δr поверхности трубы.

Коэффициент трения λ для ламинарного течения (при $Re < 2320$) вычисляется следующим образом: $\lambda = 64/Re$

Зависимость коэффициента трения от числа Рейнольдса при различных режимах течения представлена на рис. 2.2.10.

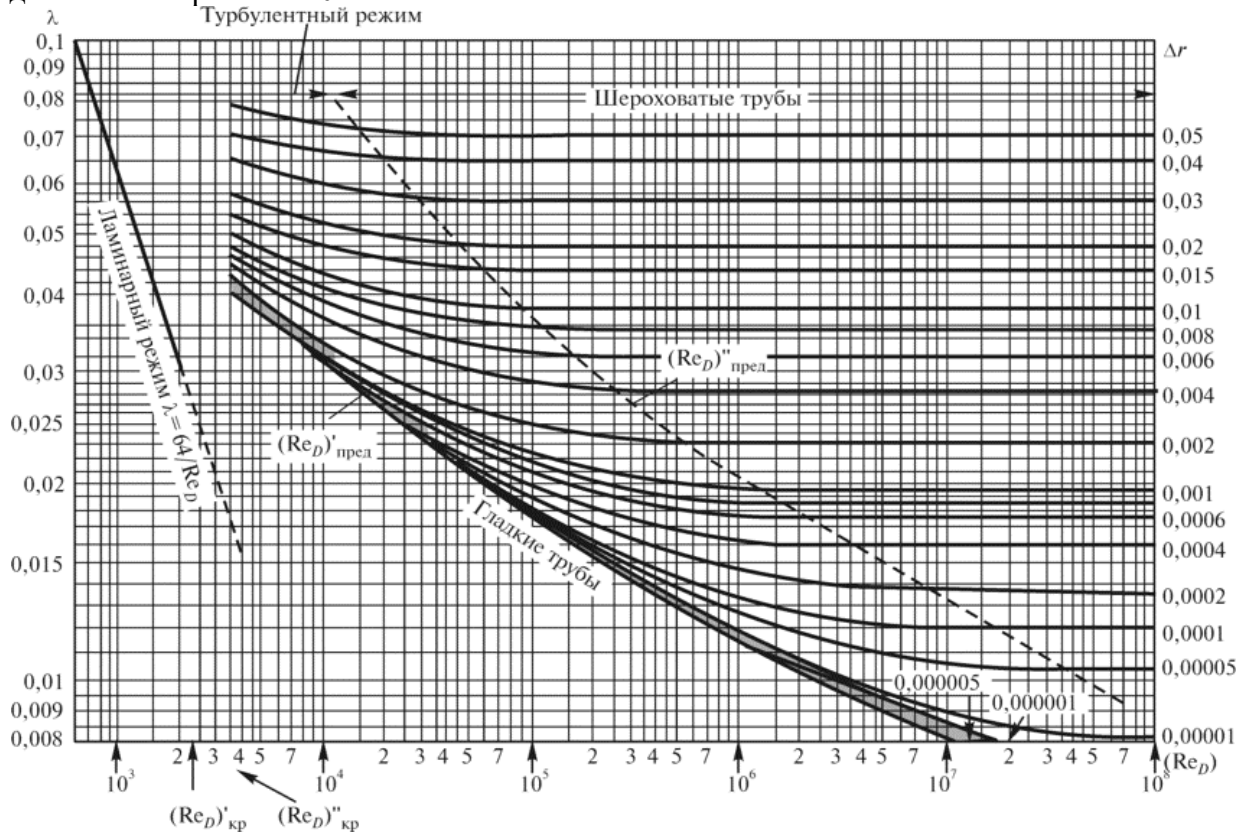


Рисунок 2.2.10 – Зависимость коэффициента трения от числа Рейнольдса при различных режимах течения

Расчет сопротивлений пневматических линий

Сопротивление пневматической линии зависит от сопротивления трубопровода и сопротивлений составляющих ее элементов.

Потери давления на местном сопротивлении можно вычислить по формуле:

$$\Delta p_m = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{Q^2}{S^2},$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления.

Если площадь проходного сечения всех подключенных в нее устройств, а также площади сечения соединяющих их трубопроводов одинаковы, то коэффициент сопротивления ζ такой линии будет определяться суммарным сопротивлением входящих в линию пневмоэлементов и сопротивлением отдельных участков трубопровода:

$$\zeta = \zeta_{\text{вх}} + \zeta_1 + \zeta_2 + \dots + \zeta_n + \lambda \cdot \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{d}$$

где $\zeta_{\text{вх}} = 0,5$ – коэффициент сопротивления входа в линию;

$\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_n$ – коэффициенты сопротивления пневмоаппаратуры в линии;
 λ – коэффициент трения газа в трубопроводе,
 l_1, l_2, \dots, l_n – длины трубопроводов между пневматическими элементами в линии,
 d – диаметр трубопроводов.

При использовании различных арматурных элементов их сопротивление можно заменить эквивалентной длиной прямой трубы соответствующего условного прохода.

К системам распределения сжатого воздуха предъявляются три требования, выполнение которых обеспечивает их надежную работу и хорошие экономические показатели. К ним относятся: низкое падение давления между компрессором и местом потребления, минимальные утечки и максимально возможное отделение конденсата в системе, если не установлен осушитель сжатого воздуха. Это в первую очередь относится к магистральным трубопроводам.

Стационарные установки сжатого воздуха должны быть рассчитаны так, чтобы падение давления в трубопроводах от компрессора до самого удаленного потребителя не превышало 0,1 бар. К этому нужно добавить падение давления в шлангах, соединениях шлангов и арматуре. Особенно важно определить размеры этих компонентов, так как наибольшее падение давления очень часто происходит именно в соединениях.

Эквивалентная длина трубы для арматурных элементов, используемых в магистральных трубопроводах представлена в табл. 2.2.2.

Таблица 2.2.2 – Эквивалентная длина трубы для арматурных элементов, используемых в магистральных трубопроводах

Тип фитинга	Условный проход трубы (мм)									
	15	20	25	30	40	50	65	80	100	125
Колено	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,4	1,8	2,4	3,2
Прямой отвод 90° (длинный)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5
Прямой отвод 90°	1,0	1,2	1,6	1,8	2,2	2,6	3,0	3,9	5,4	7,1
Отвод 180°	0,5	0,6	0,8	1,1	1,2	1,7	2,0	2,6	3,7	4,1
Шаровой клапан	0,8	1,1	1,4	2,0	2,4	3,4	4,0	5,2	7,3	9,4
Обратный клапан	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1,2
Стандартный тройник	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5
Боковой тройник	0,5	0,7	0,9	1,4	1,6	2,1	2,7	3,7	4,1	6,4

Перепад давления по длине трубы можно определить по формуле

$$\Delta p = 450 \cdot \frac{q_v^{1.185} \cdot l}{d^5 \cdot p}$$

где Δp – падение давления, бар;

q_v – производительность, л/с (нормальных);

d – внутренний диаметр трубы, мм;

l – длина трубы, м;

p – начальное абсолютное давление, бар

Для практических расчетов можно использовать специальные номограммы связывающие между собой основные параметры (рис. П1)

Пример: Требуется определить размер трубы, через которую будет проходить расход воздуха 16800 нл/мин при максимальном перепаде давления не более 0,3 бар на 125 м длины трубы. Давление составляет 9 бар. Падение давления в 30 кПа на 125 м соответствует 30 кПа/125 м=0,24 кПа/м. Далее используем номограмму приведенную в Приложении (рис. П1): Проведем линию от точки 9 бар расположенной на линии давления через точку, соответствующую значению 0,24 кПа/м, на линии перепадов давления до пересечения с контрольной линией в точке X. Соединим точку X с точкой 0,28 м³/с (16800/1000/60=0,28) прямой линией до пересечения с линией, на которой отложены значения размера трубы. Это происходит в точке равной 61 мм, т.е. минимальный внутренний диаметр трубы, которую можно использовать составляет 61 мм. Далее необходимо выбрать стандартные размеры трубы.

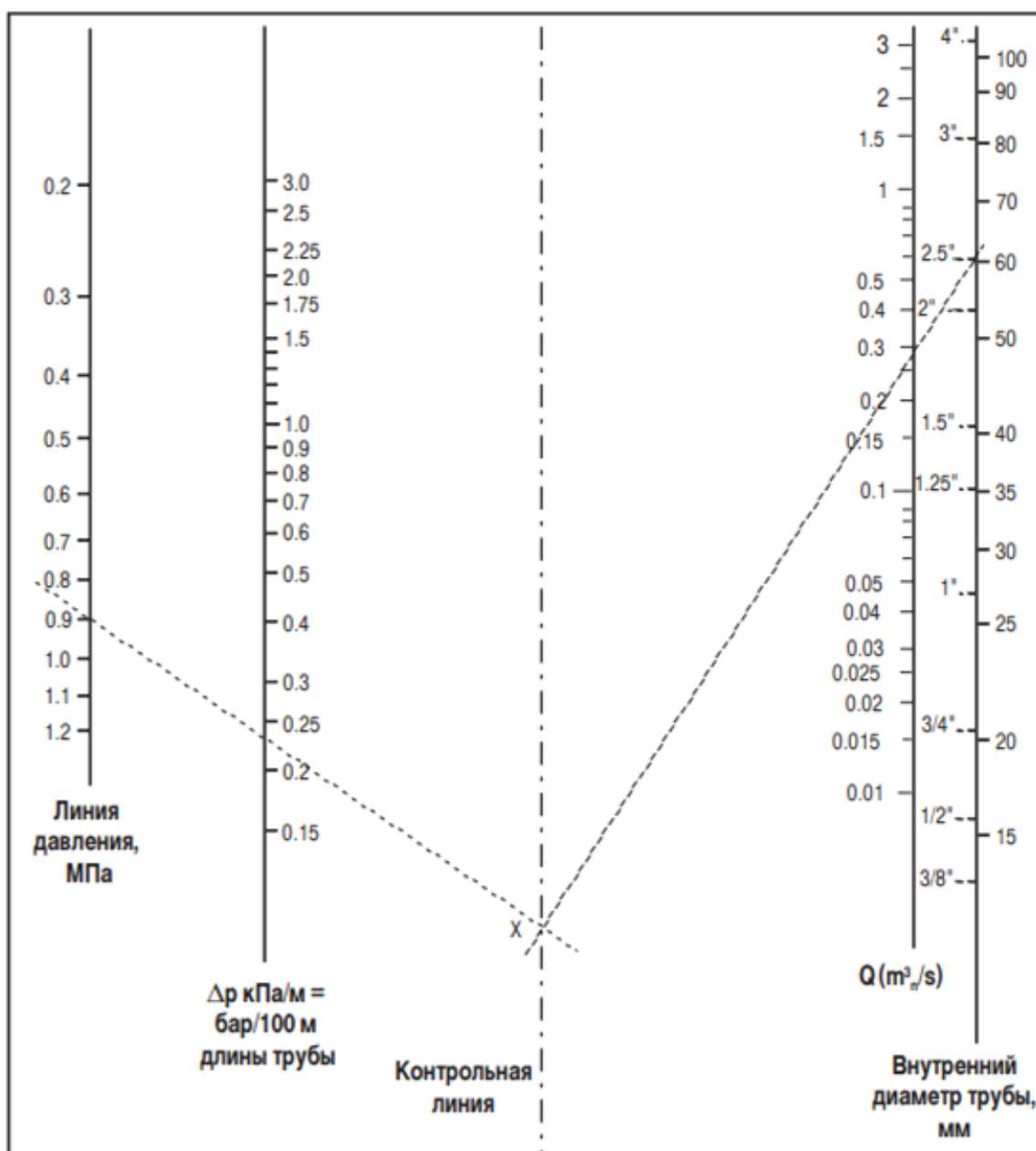


Рисунок 2.2.11 – Номограмма для определения диаметра магистральной трубы

Учитывая гидравлическую схему работы длинных трубопроводов, их можно разделить также на простые и сложные. Простыми называются последовательно соединенные трубопроводы одного или различных сечений, не имеющих никаких ответвлений. К сложным трубопроводам относятся системы труб с одним или несколькими ответвлениями, параллельными ветвями и т.д. К сложным относятся и так называемые кольцевые трубопроводы.

Соединения простых трубопроводов

Простые трубопроводы могут соединяться между собой, при этом их соединение может быть последовательным или параллельным.

Последовательное соединение.

Возьмем несколько труб различной длины, разного диаметра и содержащих разные местные сопротивления, и соединим их последовательно.

Определение потерь напора при последовательном соединении пневмоэлементов представлено на рис. 2.2.12.

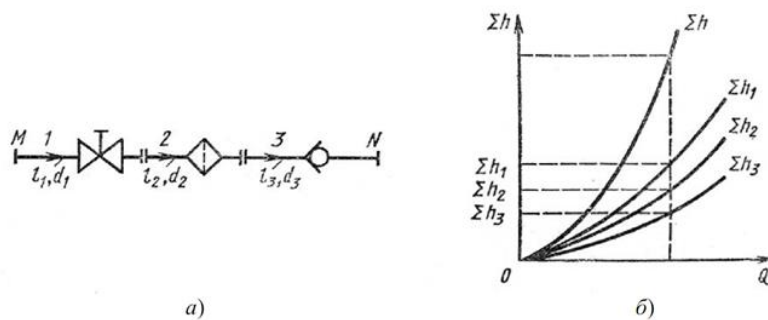


Рисунок 2.2.12 – Определение потерь напора при последовательном соединении пневмоэлементов

При подаче жидкости по такому составному трубопроводу от точки М к точке N расход Q во всех последовательно соединенных трубах 1, 2 и 3 будет одинаков, а полная потеря напора между точками М и N равна сумме потерь напора во всех последовательно соединенных трубах. Таким образом, для последовательного соединения имеем следующие основные уравнения:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

$$\sum h_{M-N} = \sum h_1 + \sum h_2 + \sum h_3$$

Параллельное соединение.

Трубопроводы 1, 2 и 3 расположены параллельно (рис.2.2.13).

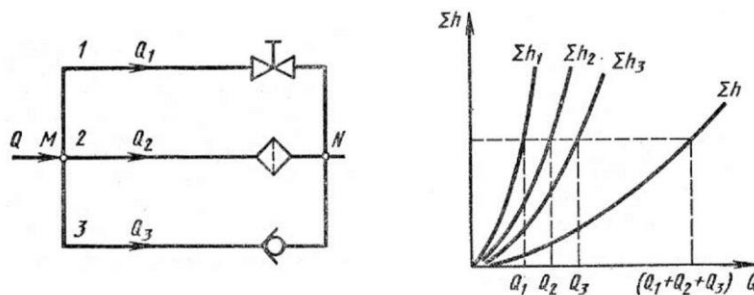


Рисунок 2.2.13 – Определение потерь напора при последовательном соединении пневмоэлементов

Обозначим полные напоры в точках М и N соответственно H_M и H_N , расход в основной магистрали через Q , а в параллельных трубопроводах через Q_1, Q_2, Q_3 ; суммарные потери в этих трубопроводах через $\sum h_1, \sum h_2, \sum h_3$.

Тогда расход жидкости в основной магистрали:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$\sum h_1 = \sum h_2 = \sum h_3$$

Т.е. потери напора в параллельных трубопроводах равны между собой. Их можно выразить через расходы следующим образом:

$$\sum h_1 = K_1 \cdot Q_1^m; \sum h_2 = K_2 \cdot Q_2^m; \sum h_3 = K_3 \cdot Q_3^m$$

где K и m – коэффициенты определяемый в соответствии с режимом течения.

Из уравнений вытекает следующее правило: для построения характеристики параллельного соединения нескольких трубопроводов следует сложить абсциссы (расходы) характеристик этих трубопроводов при одинаковых ординатах (сумма h).

Типовая линейная магистраль показана на рис. 2.2.14, а кольцевая на рис. 2.2.15.

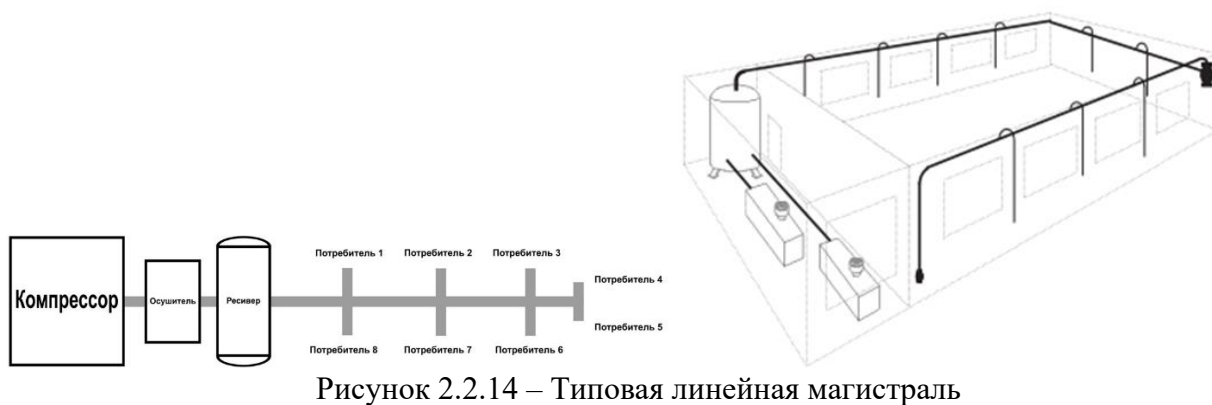


Рисунок 2.2.14 – Типовая линейная магистраль

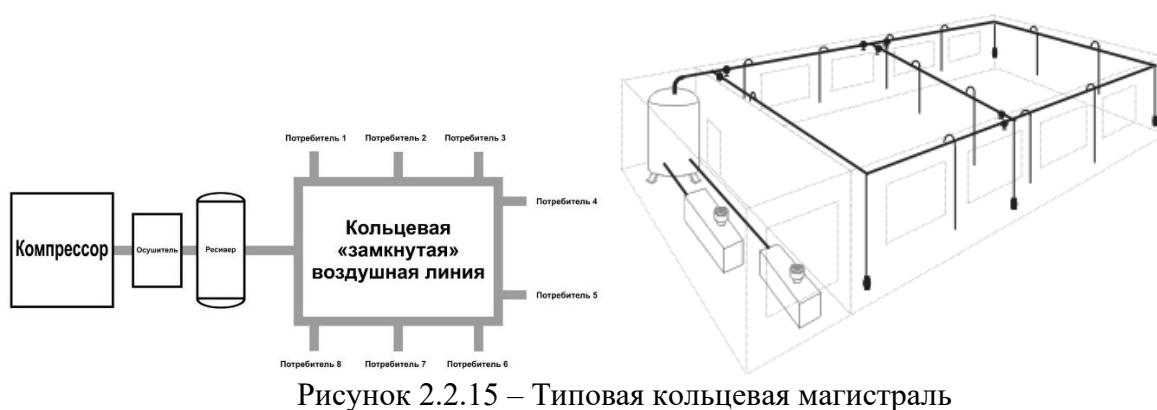


Рисунок 2.2.15 – Типовая кольцевая магистраль

На рисунке 2.2.16 представлены варианты отвода воздуха и конденсата.

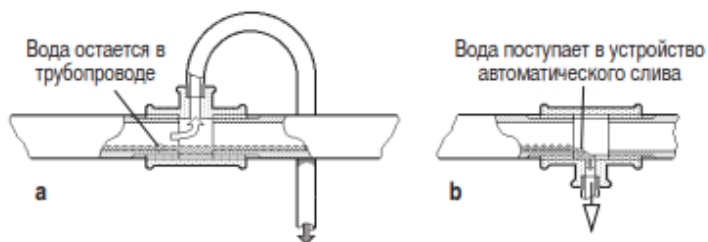


Рисунок 2.2.16 – Отбор воздуха (а) и отвод конденсата (б)

На рисунке 2.2.17 представлено изображение различных цанговых фитингов, применяемых при сборке пневмосистем.



Рисунок 2.2.17 – Варианты цанговых фитингов

Варианты резьбовых фитингов показаны на рис. 2.2.18.



Рисунок 2.2.18 – Варианты резьбовых фитингов

На рисунке 2.2.19 показаны варианты быстроразъемных соединений.



Рисунок 2.2.19 – Варианты быстроразъемных соединений

Тема 2.3 Исполнительные устройства пневмоприводов

Исполнительные устройства можно разделить на группы:

- приводы поступательного движения (линейные приводы)
 - цилиндры одностороннего действия,
 - цилиндры двустороннего действия;
- приводы вращательного движения (ротационные приводы)
 - пневмомоторы,
 - поворотные приводы.

Разновидности пневмоцилиндров показаны на рис. 2.3.1.



Рисунок 2.3.1 – Разновидности пневмоцилиндров

Пневмоцилиндры одностороннего действия

Пневмоцилиндры одностороннего действия (рис. 2.3.2) применяют в различного рода выталкивателях, в зажимных, маркировочных и других подобных устройствах. Рабочий ход в таких пневмоцилиндрах осуществляется под действием сжатого воздуха, а в исходную позицию выходное звено возвращается встроенной пружиной либо от внешней нагрузки

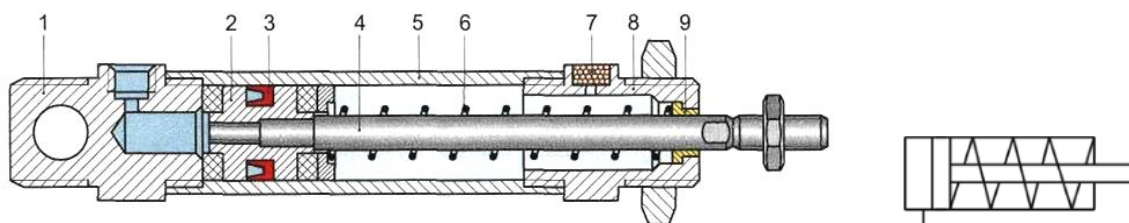




Рисунок 2.3.2 – Пневмоцилиндр одностороннего действия: 1 – задняя крышка; 2 – поршень; 3 – уплотнение; 4 – шток; 5 – корпус; 6 – пружина; 7 – отверстие с фильтром; 8 – передняя крышка; 9 – направляющая втулка

В рассматриваемой конструкции гильза пневмоцилиндра 5 (цилиндрический корпус) с обеих сторон закрыта крышками 1 и 8, причем в задней крышке 1 выполнено отверстие для подвода сжатого воздуха, а передняя крышка 8 имеет декомпрессионное отверстие с вмонтированным фильтроэлементом 7. Поршень 2 делит внутреннее пространство гильзы на две полости: штоковую, в которой находится жестко связанный с ним шток 4, и поршневую. Полости разграничены герметичным уплотнением 3 (например, манжетой), расположенным в кольцевой проточке на наружной цилиндрической поверхности поршня. Передняя (проходная) крышка 8 снабжена направляющей втулкой 9, которая является опорой скольжения штока, передающего усилие от поршня на внешний объект. Возвратная пружина 6 смонтирована внутри цилиндра и охватывает шток.

Область применения пневмоцилиндров одностороннего действия ограничена недостатками, присущими данной конструкции:

- рабочее усилие снижено вследствие противодействия пружины (примерно на 10%);
- малое усилие при обратном ходе (примерно 10% рабочего);
- ограниченное перемещение штока (максимум 100 мм);
- увеличенные продольные габариты (прибавляется длина сжатой пружины).

Пневмоцилиндры двустороннего действия (рис. 2.3.3) применяют в тех случаях, когда требуется передавать рабочее усилие при линейных перемещениях в обоих направлениях.

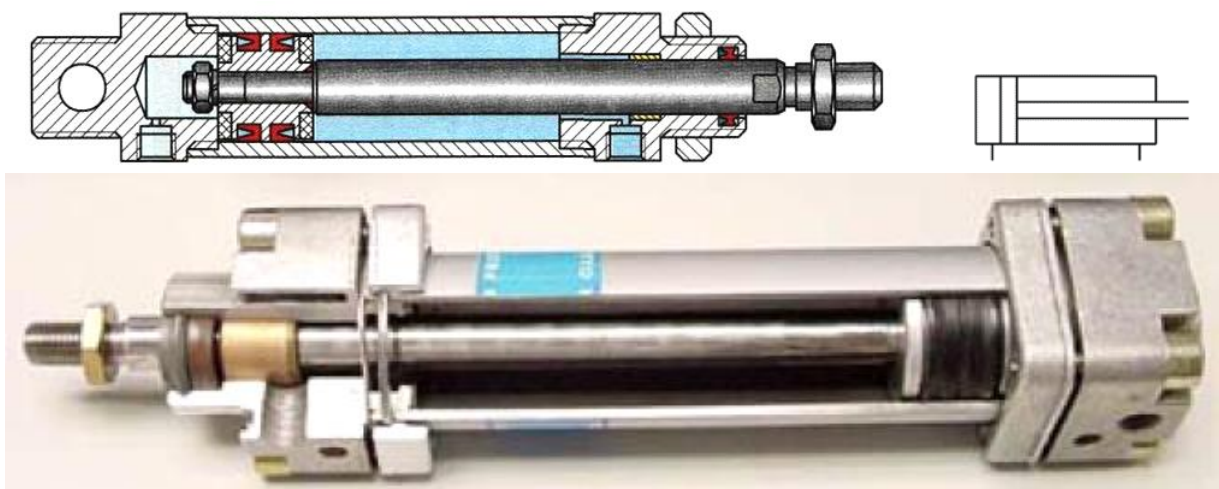
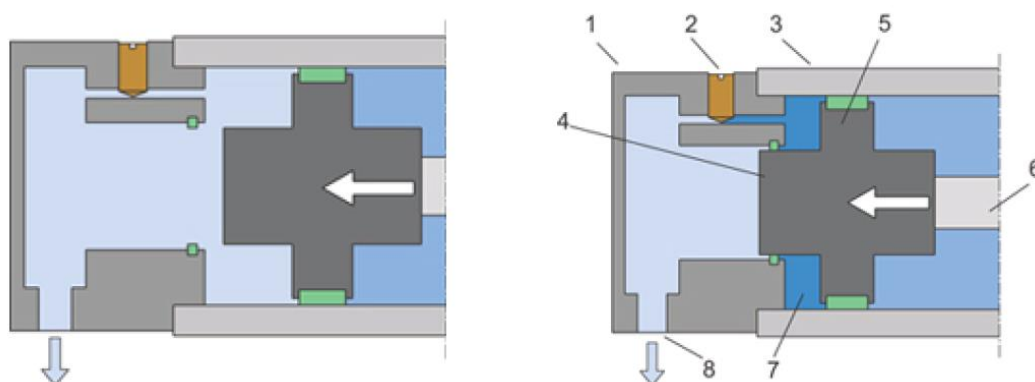


Рисунок 2.3.3 – Пневмоцилиндр двустороннего действия

Удары не только являются причиной возникновения шума, но и приводят к преждевременному износу и даже поломке элементов конструкции. Избежать преждевременного выхода из строя пневмоцилиндра можно путем установки на поршне эластичных (например, резиновых) демпферов. Однако такой способ демпфирования оказывается недостаточно эффективным, если имеют место значительные инерционные нагрузки. В таких случаях применяют пневмоцилиндры двустороннего действия с воздушным демпфированием в конце хода.

Схема работы воздушного демпфирования представлена на рис. 2.3.4.

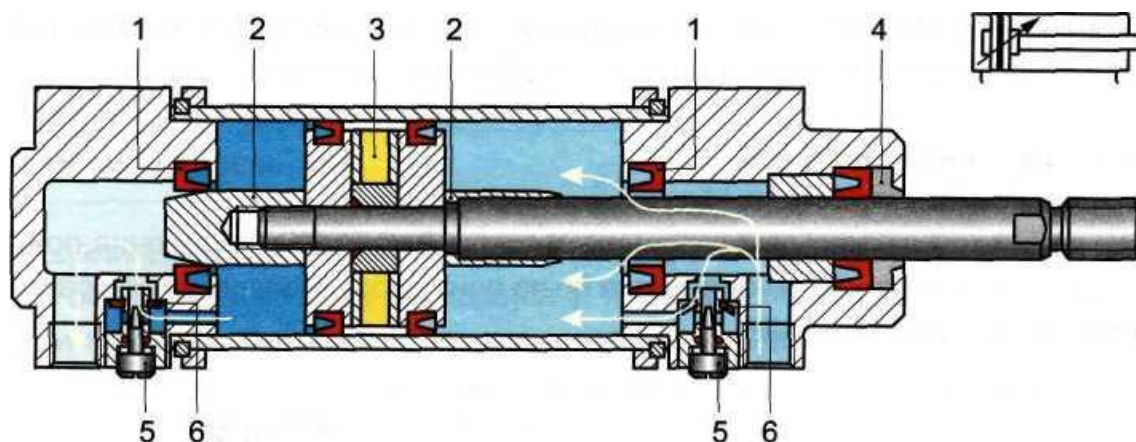
Во время движения поршня сжатый воздух выходит через отверстие 8 (рисунок 2.3.4). Прежде чем поршень достигнет головки, тормозной поршень 4, который является частью поршня цилиндра 5, предотвращает выход воздуха из тормозной камеры 7 через отверстие 8. Воздух, попавший туда, может выйти только через отверстие гораздо меньшего размера. Отверстие можно регулировать с помощью дроссельного винта. Внутри тормозной камеры 7 давление повышается и создает временную пневматическую пружину. Его сопротивление сохраняется до тех пор, пока воздух полностью не выйдет через дроссельный винт 2.



- 1 – крышка цилиндра; 2 – дроссельный винт; 3 – труба цилиндра; 4 – тормозной поршень;
5 – поршень цилиндра; 6 – шток; 7 – тормозная камера; 8 – отверстие присоединения
воздушного порта

Рисунок 2.3.4 – Схема работы воздушного демпфирования

Пневмоцилиндр двустороннего действия с регулируемым демпфированием представлен на рис. 2.3.5.



- 1 – уплотнительные манжеты; 2 – втулки демпфера; 3 – кольцевой постоянный магнит для работы с бесконтактными датчиками; 5 – регулируемый дроссель; 6 – обратный клапан

Рисунок 2.3.5 – Пневмоцилиндр двустороннего действия с регулируемым демпфированием

По обе стороны поршня устанавливают втулки демпфера 2, а в крышках цилиндра – уплотнительные манжеты 1 и дроссели 5 с обратным клапаном 6.

Сжатый воздух, подводимый к цилиндру, свободно поступает в соответствующую полость, в том числе и через встроенный обратный клапан 6. Поршень движется к удаленной от него в этот момент крышке с максимальной скоростью до тех пор, пока втулка демпфера 2 не дойдет до уплотнительных манжет 1. При этом происходит «запирание» некоторого объема отводимого из цилиндра воздуха в полости, которая только что была соединена с атмосферой. Теперь воздух из этой полости может вытесняться в атмосферу лишь через отверстие малого диаметра в дросселе 5, величину проходного сечения которого можно изменять. Между крышкой и поршнем образуется «воздушная подушка». При дальнейшем движении поршня воздух в запертом объеме начинает сжиматься, давление возрастает, что приводит к торможению поршня, степень которого тем больше, чем меньше проходное сечение дросселя. В конечном итоге поршень упирается в крышку без удара, мягко.

При изменении направления движения сжатый воздух свободно поступает под поршень через обратный клапан 6, составляющий вместе с дросселем 5 единый узел, что обеспечивает быстрое трогание цилиндра с места.

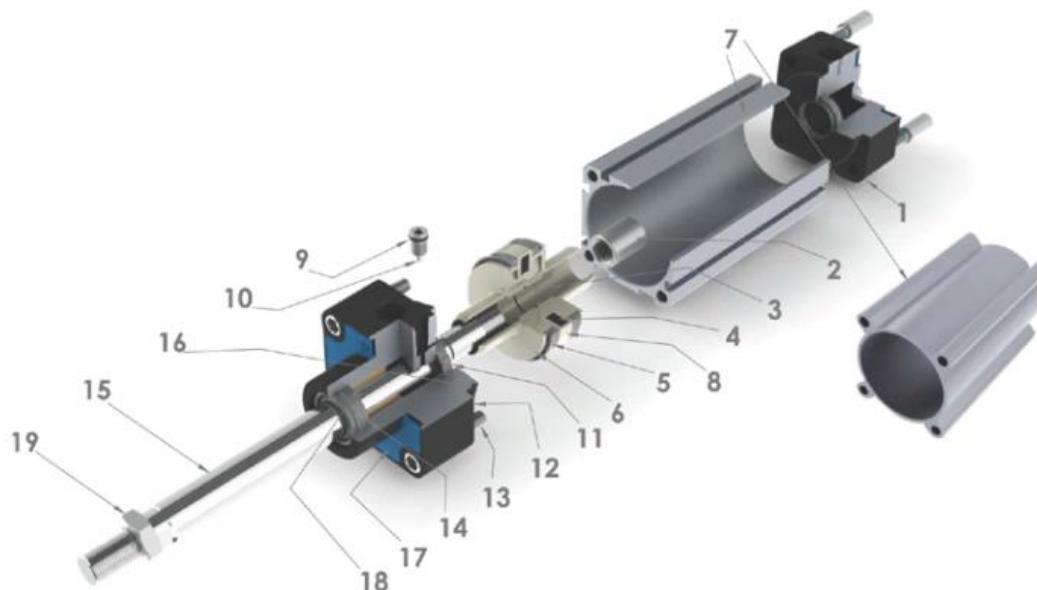
Пневмоцилиндр, показанный на рис., существенно отличается от рассмотренных выше конструкций тем, что в нем помимо установленных регулируемых демпферов смонтирован на поршне кольцевой постоянный магнит 3, магнитное поле которого распространяется за пределы гильзы и может регистрироваться с помощью специальных датчиков. Таким образом обеспечивается возможность контроля определенных функционально важных положений выходного звена пневмоцилиндра. Для защиты штока от внешних загрязнителей в проходной (передней) крышке практически всех пневмоцилиндров устанавливают грязесъемное кольцо 4.

Описанная конструкция пневмоцилиндров благодаря своей простоте и функциональным возможностям является наиболее распространенной, и ее можно назвать типовой или даже традиционной. Большинство существующих пневмоцилиндров двустороннего действия выпускается именно в таком исполнении и применяется для решения широкого круга технических задач.

Однако пневмоцилиндрам двустороннего действия присущ и ряд недостатков, ограничивающих область их применения:

- усилия при прямом и обратном ходах поршня различны вследствие неодинаковости его площадей в штоковой и поршневой полостях;
- шток расположен консольно, причем размер консоли различен во втянутом и выдвинутом положении;
- шток хорошо воспринимает только осевую нагрузку, тогда как радиальную – плохо.

Конструкция и материалы пневмоцилиндра представлена на рис. 2.3.6.



1 – крышка цилиндра (анодированный алюминий); 2 – фиксирующая поршень гайка (никелированная сталь); 3 – уплотнительное кольцо между поршнем и штоком (NBR); 4 – магнит (ферромагнитный материал); 5 – уплотнение поршня (полиуретан); 6 – поршень (технический полимер или алюминий); 7 – корпус цилиндра (анодированный алюминий); 8 – направляющая (технический полимер); 9 – уплотнительное кольцо для регулируемого демпфера (NBR); 10 – винт (никелированная сталь); 11 – подвижное уплотнение (полиуретан); 12 – крышка цилиндра (анодированный алюминий); 13 – винты (сталь никелированная); 14 – уплотнение штока поршня (полиуретан); 15 – шток (хромированная или нержавеющая сталь); 16 – уплотнительное кольцо (NBR); 17 – крышки (РА); 18 – втулка/подшипник для штока (спеченная бронза); 19 – гайка штока (никелированная сталь); (NBR – бутадиев нитрильный каучук, РА – полиамид)

Рисунок 2.3.6 – Конструкция и материалы пневмоцилиндра

Пневмоцилиндры с проходным штоком

В пневмоцилиндрах с проходным, или двусторонним, штоком (рис. 2.3.7) обе рабочие полости штоковые, а площади поршня равны с обеих сторон. Шток опирается не на одну опору в крышке, как в ранее рассмотренных конструкциях, а на две – в каждой из крышек.

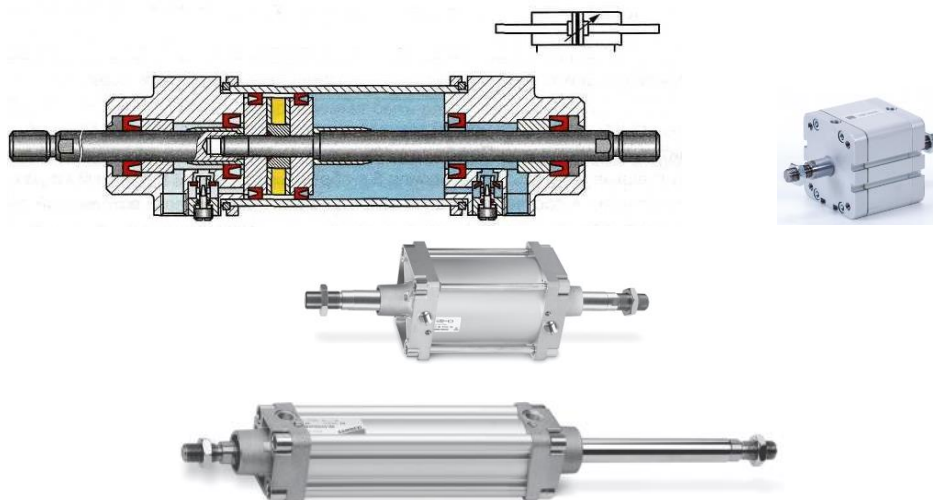


Рисунок 2.3.7 – Пневмоцилиндр с двусторонним штоком

Подобная конструкция имеет ряд преимуществ:

- возможность осуществления рабочих перемещений со стороны обоих торцов пневмоцилиндра;

нагрузка на шток воспринимается двумя опорами, что увеличивает срок службы пневмоцилиндра;

- равенство площадей поршня в обеих рабочих полостях, что обеспечивает равные рабочие усилия при движении его в любом направлении.

К недостаткам пневмоцилиндров с проходным штоком относят увеличенный почти вдвое по сравнению с традиционной конструкцией продольный габарит пневмоцилиндра за счет увеличения длины штока.

Тандем-пневмоцилиндры

В случаях, когда требуется получение значительных усилий, а поперечный размер монтажного пространства на технологическом оборудовании недостаточен для установки пневмоцилиндра соответствующего диаметра, применяют тандем-пневмоцилиндры (рис. 2.3.8).

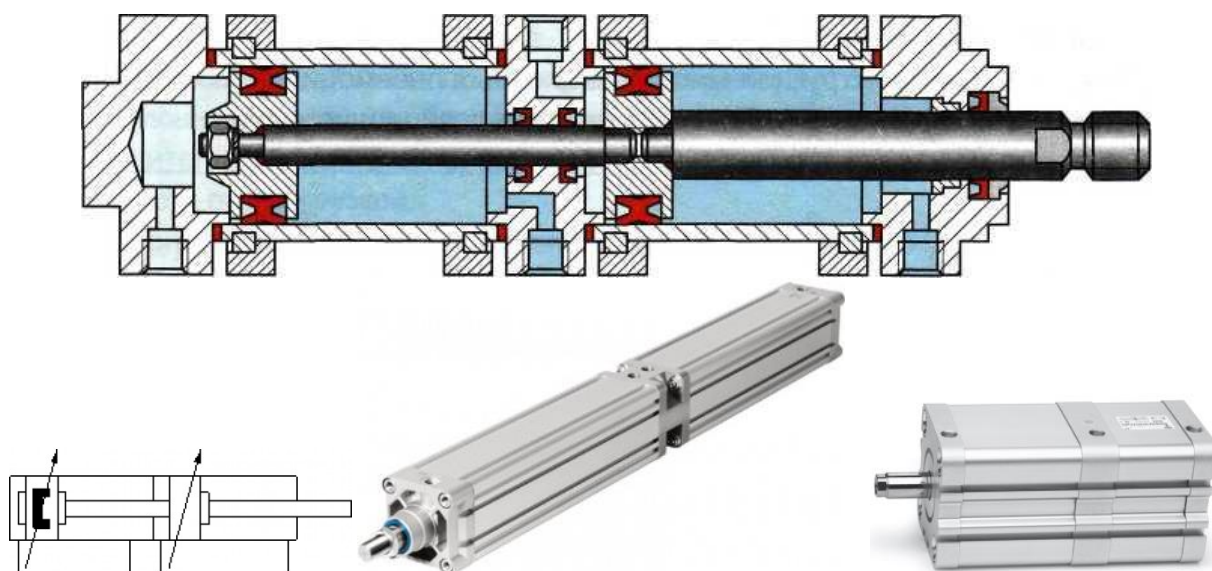


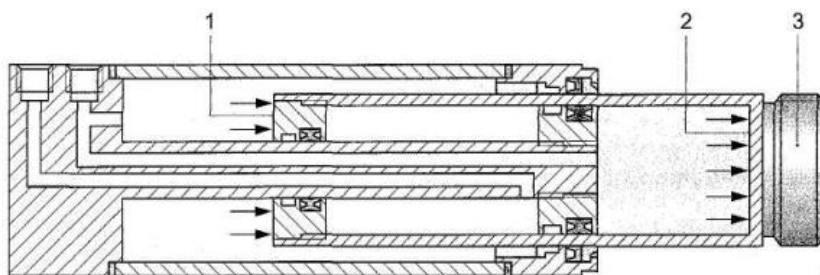
Рисунок 2.3.8 – Тандем-пневмоцилиндр

Тандем-пневмоцилиндр, или сдвоенный пневмоцилиндр, – это, по существу, два пневмоцилиндра двустороннего действия, объединенные в одном корпусе и имеющие общий шток. По сравнению с традиционными пневмоцилиндрами того же диаметра усилия, развиваемые тандем-пневмоцилиндрами, фактически в два раза больше вследствие суммирования усилий, получаемых одновременно на двух поршнях.

Если необходимо увеличить развиваемое пневмоцилиндром толкающее усилие в три-четыре раза, применяют секционные пневмоцилиндры, которые последовательно стыкуются между собой. Наличие в их корпусах распределительных каналов позволяет подводить сжатый воздух в полости всех пневмоцилиндров всего через два внешних подсоединения.

Если необходимо увеличить развиваемое пневмоцилиндром толкающее усилие в три-четыре раза, применяют секционные пневмоцилиндры, которые последовательно стыкуются между собой. Наличие в их корпусах распределительных каналов позволяет подводить сжатый воздух в полости всех пневмоцилиндров всего через два внешних подсоединения.

Продольный габарит тандем-пневмоцилиндров как минимум в два раза больше, чем традиционных пневмоцилиндров. В конструкции, представленной на рис. 2.3.9, этот недостаток отсутствует.



1 – внешний торецлого штока; 2 – внутренний торецлого штока; 3 – шток-плунжер
Рисунок 2.3.9 – Компактный тандем-пневмоцилиндр:

Многопозиционные пневмоцилиндры

Чтобы обеспечить некоторое ограниченное число точек позиционирования (более двух), например в сортировочных устройствах, применяют многопозиционные пневмоцилиндры, состоящие из двух или более пневмо-цилиндров с различными рабочими ходами.

На рис. 2.3.10 представлены две конструкции многопозиционных пневмоцилиндров, одна из которых (рис. 2.3.10а) обеспечивает три, а вторая (рис. 2.3.10б) – четыре точки позиционирования.



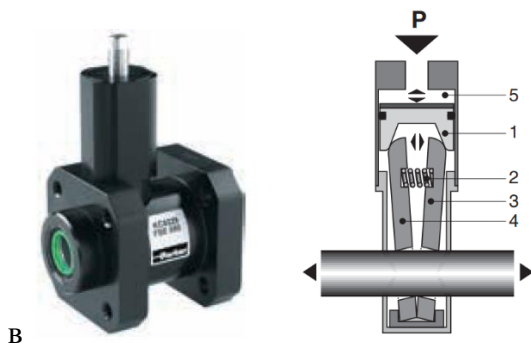
Рисунок 2.3.10 – Многопозиционные пневмоцилиндры

Во время работы корпус четырехпозиционного пневмоцилиндра перемещается, следовательно, пневмоцилиндр должен быть укомплектован при монтаже подвижными соединениями для пневмошлангов.

Цилиндр с фиксатором штока

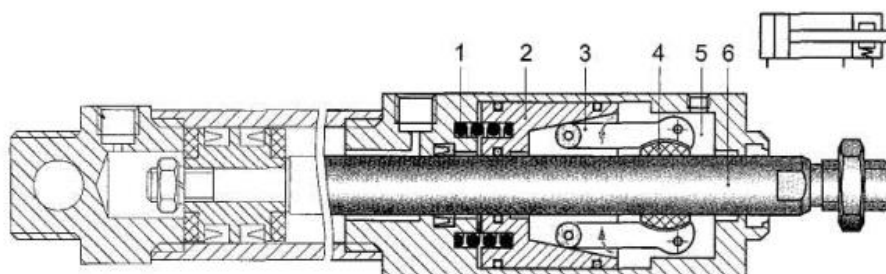
Пневмоцилиндры с фиксатором штока представлены на рис. 2.3.11 и 2.3.12. При наличии давления воздуха в полости 5 поршень 1 воздействует на элементы 3 и 4 сжимая их и освобождая шток пневмоцилиндра. При отсутствии давления пружина два разжимает элементы 3 и 4 заклинивая шток пневмоцилиндра и не давая ему двигаться под определенной нагрузкой.





а – условное графическое изображение цилиндров с фиксацией штока на схемах; б – изображение пневмоцилиндров с фиксатором штока; в – изображение и конструкция фиксатора штока
Рисунок 2.3.11 – Пневмоцилиндры с фиксатором штока

Путем механического удержания штока посредством специальных устройств (рис. 2.3.12) можно также получить фактически неограниченное число точек позиционирования.

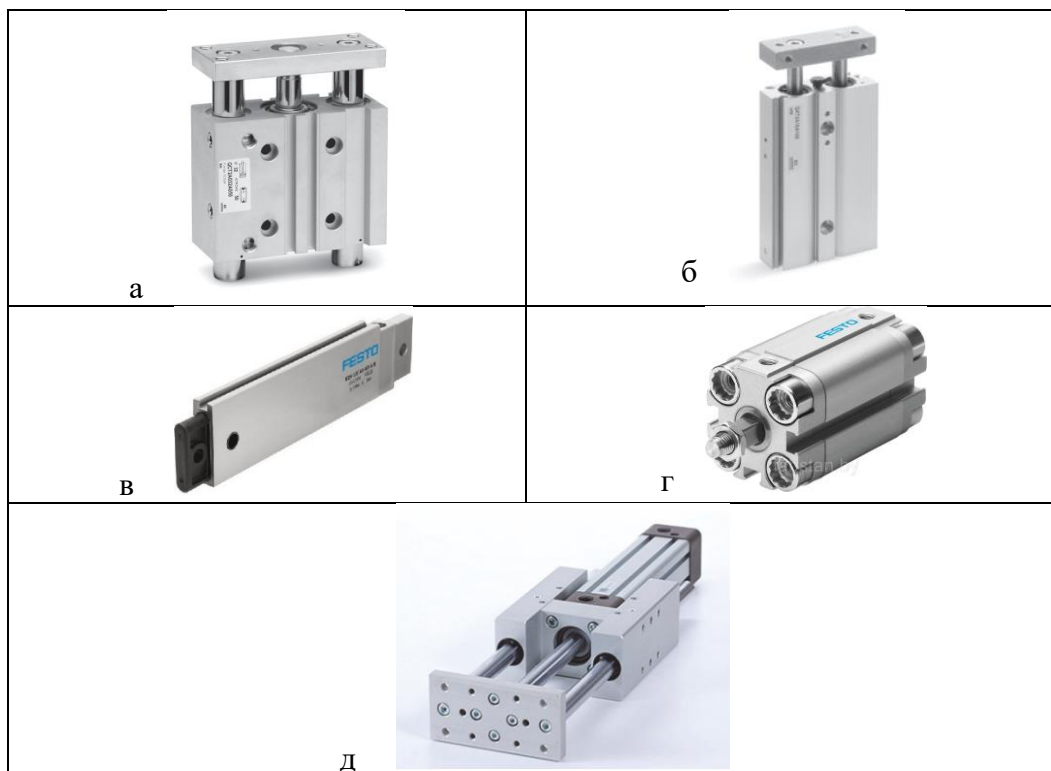


1 – пружина; 2 – поршень; 3 – рычаг; 4 – тормозной башмак; 5 – рабочая полость; 6 – шток
Рисунок 2.3.12 – Пневмоцилиндр с фиксатором штока (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

На рис.2.3.12 шток 6 удерживается разрезным тормозным башмаком 4, который обжимает его под действием встроенной пружины 1. Разблокировка штока 6 осуществляется при подаче сжатого воздуха в рабочую полость 5 фиксатора. При этом поршень 2, сжимая пружину 1, освобождает элементы конструкции 3, прижимающие тормозной башмак 4 к штоку 6. Фиксаторы позволяют надежно удерживать шток пневмоцилиндра под нагрузкой даже при внезапном падении давления в пневмосети.

Защита штока пневмоцилиндра от проворота

При возвратно-поступательном движении штока в стандартных пневмоцилиндрах имеет место некоторый его проворот относительно оси движения, что обусловлено наличием микронеровностей на поверхности самого штока, а также на направляющих и уплотнениях. В связи с этим непосредственно на штоке пневмоцилиндра нельзя закреплять инструмент (например, краскопульт), требующий строгой ориентации в пространстве. С целью устранения этого недостатка, особенно в тех случаях, когда к штоку прикладывается крутящий момент, применяют различные конструкции, в которых шток защищен от проворота (рис. 2.3.13).



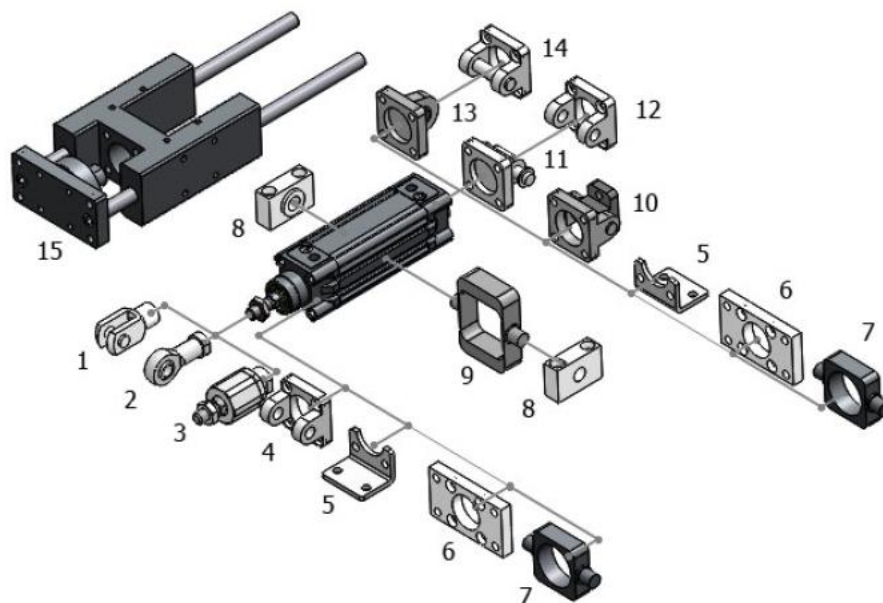
а) с направляющими, выполненными в одном корпусе с гильзой; б) двухштоковая; в) с прямоугольным (плоским) поршнем; г) шток квадратного сечения; д) с внешними направляющими
 Рисунок 2.3.13 – Конструкции пневмоцилиндров с непроворачивающимся штоком

Монтаж пневмоцилиндров

Различные условия работы пневмоцилиндров обуславливают различные способы их монтажа. Способ монтажа существенно влияет на эксплуатационные показатели пневмопривода и ведомого механизма. Поэтому его необходимо выбирать так, чтобы:

- на штоке не возникали радиальные нагрузки;
- шток не потерял устойчивость в полностью выдвинутом положении.

Для неподвижного и для подвижного способов монтажа выпускаются различные элементы крепежа (рис. 2.3.14). В случаях неподвижного монтажа, кроме варианта непосредственного крепления пневмоцилиндров, на оборудовании применяют фланцы и лапы. Для обеспечения подвижности пневмоцилиндра во время работы используют цапфы, поворотные оси или проушины.



1 – вилка со штифтом; 2 – наконечник штока со сферическим шарниром; 3 – наконечник штока самоустанавливающийся; 4 – вилка передняя; 5 – передняя / задняя низкая лапа; 6 – передний / задний фланец; 7 – передняя / задняя промежуточная опора; 8 – опорная втулка для промежуточной опоры; 9 – промежуточная опора; 10 – шарнирная прямая опора; 11 – проушина со штифтом; 12 – задняя вилка; 13 – проушина со сферическим шарниром; 14 – узкая задняя вилка со штифтом; 15 – противоповоротная направляющая

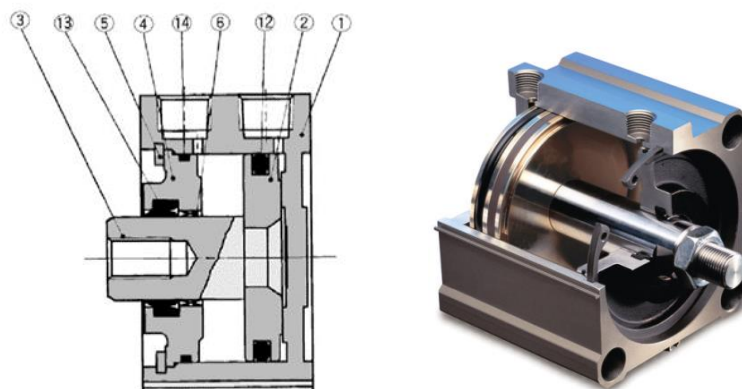
Рисунок 2.3.14 – Принадлежности для монтажа

Пневмоцилиндры производят как по стандартам ISO, так и по спецификациям фирм и требованиям потребителей. Использование стандартов позволяет осуществить полную взаимозаменяемость элементов оборудования вне зависимости от фирмы производителя.

Стандарты предусматривают основные размеры для типа цилиндра и дополнительные монтажные принадлежности и навесное оборудование. Используют следующие основные стандарты:

- ISO 6432 – Цилиндр с круглым корпусом
- ISO 15552 – Стандартный цилиндр
- ISO 21287 – Компактный цилиндр

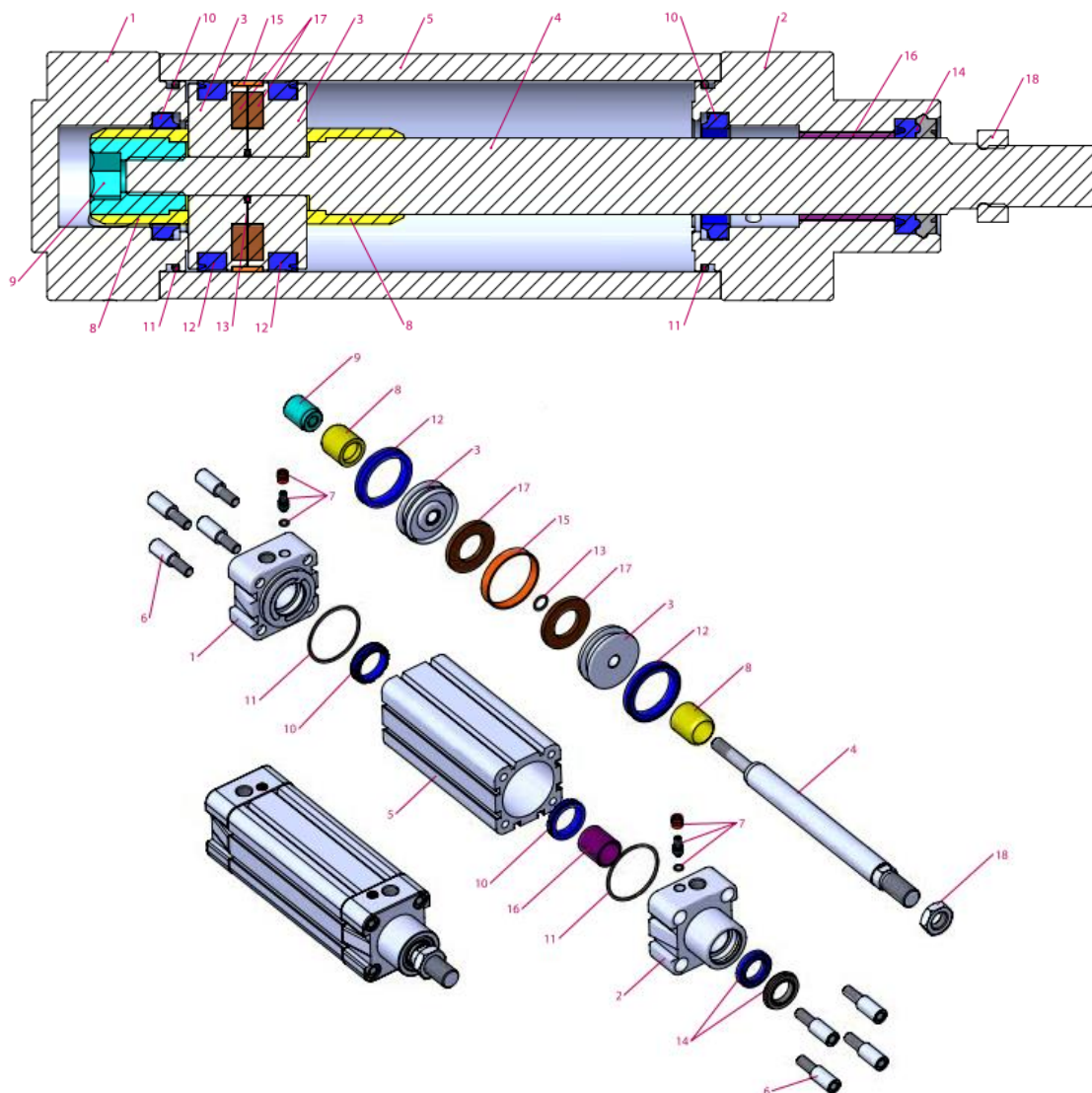
Пневмоцилиндр CQ2 фирмы SMC в разрезе показан на рис. 2.3.15.



1 – корпус, 2 – поршень, 3 – шток, 4 – крышка, 5 – стопорное кольцо, 6 – направляющее кольцо, 7 – гайка, 8,9 – упругие демпферы, 10 – крепежное кольцо, 11 – фитинг, 12,13,14 – уплотнения

Рисунок 2.3.15 – Пневмоцилиндр CQ2 фирмы SMC в разрезе

Виды материалов применяемые в пневмоцилиндрах показаны на рис. 2.3.16.



1 – Задняя крышка (Алюминий); 2 – Передняя крышка (алюминий); 3 – Поршень (алюминий); 4 – Шток (X20 Cr13 твердое покрытие); 5 – Гильза (Al Mg Si 0,5 + элоксальное покрытие); 6 – Болт (гальванизированная сталь); 7 – Демпфирующий винт (латунь+AISI 303 NBR); 8 – Демпфирующий элемент (полиацеталь); 9 – Демпфирующий винт (гальванизированная сталь); 10 – Демп. уплотнение (PU); 11 – O-ring уплотнение (NBR); 12 – Уплотнение поршня (PU); 13 O-ring уплотнение (NBR); 14 – Уплотнение штока (HYTREL + PU); 15 – Направляющая лента (полиацеталь); 16 – Направляющая втулка (CSB-40); 17 – Магнит; 18 – Гайка (гальванизированная сталь); (PU – полиуретан, NBR – бутадиен нитрильный каучук, HYTREL – термопластичный полиэфирный эластомер, CSB – металлополимер)

Рисунок 2.3.16 – Материалы применяемые в пневмоцилиндрах

Важным вопросом является вид и материал уплотнений используемых в пневмоцилиндрах .

Преимуществом специального уплотнения фирмы SMC (рис. 2.3.17) является то, что трение постоянно остаётся на низком уровне, в единственной точке контакта между уплотнением и стенкой цилиндра, вне зависимости от давления. При возвратно-поступательном движении цилиндра, уплотнение изгибается в «тали» и распределяет линию

контакта так, что сила прижима уплотнения к поверхности цилиндра не возрастает и, таким образом, поверхность контакта не увеличивается. При этом возникает ещё один положительный эффект: специальная густая смазка, заложенная в цилиндр, равномерно распределяется уплотнением по всей его длине. Низкий уровень трения означает, что имеется возможность работать на низких скоростях без «прерывистой подачи», а к.п.д. пневмоцилиндра находится на высоком уровне.

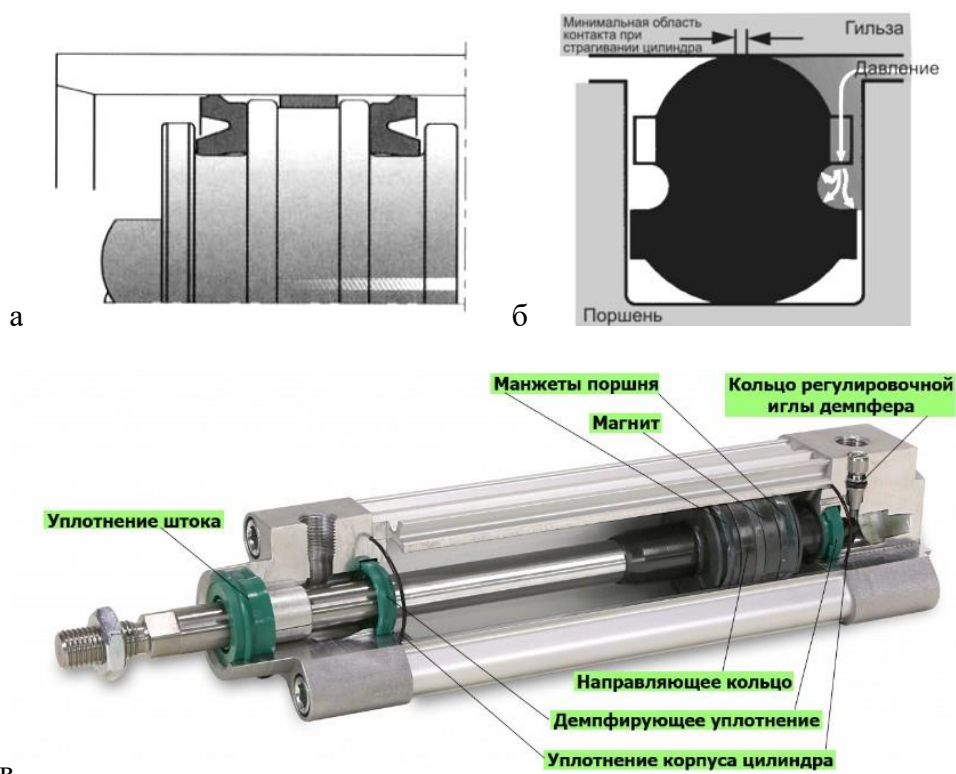


Рисунок 2.3.17 – Манжетное уплотнение (а) и уплотнение фирмы SMC (б) а также виды уплотнений пневмоцилиндра (в)

Бесштоковые пневмоцилиндры

Для обеспечения большого хода необходим шток соответствующей длины, что обуславливает резкое увеличение продольного габарита пневмоцилиндра, кроме того, значительные размеры консольной части штока в выдвинутом положении могут стать причиной потери устойчивости под нагрузкой.

Сравнение габаритных размеров традиционных и бесштоковых пневмоцилиндров показано на рис. 2.3.18.

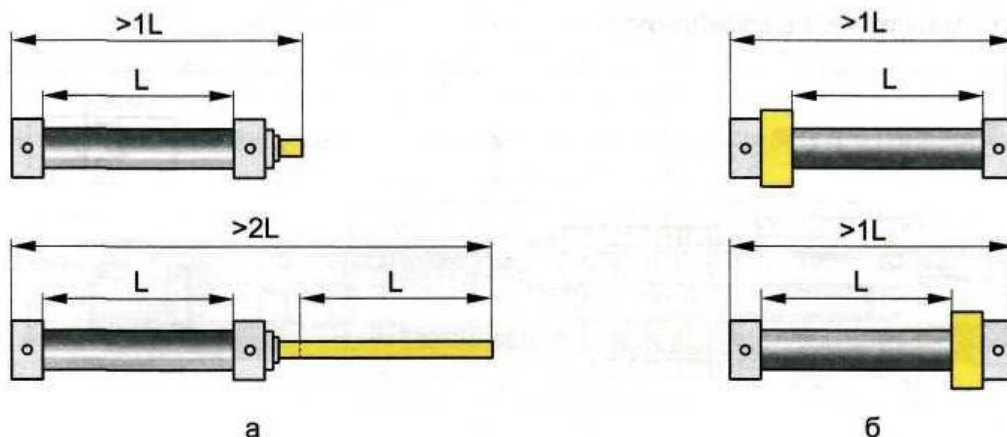


Рисунок 2.3.18 – Сравнение габаритных размеров традиционных и бесштоковых пневмоцилиндров

Пневмоцилиндр с гибким штоком

Одним из конструктивных решений, позволяющих отказаться от штока в его традиционном значении, является пневмоцилиндр с гибким штоком (рис. 2.3.19).

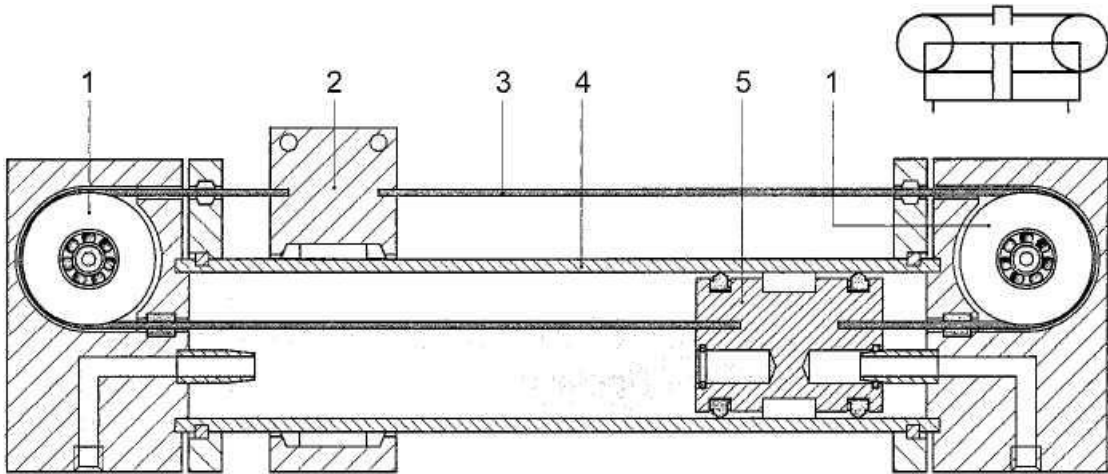


Рисунок 2.3.19 – Пневмоцилиндр с гибким штоком

Жесткий шток в данной конструкции заменен покрытым нейлоном металлическим тросом 3 (либо лентой из синтетического материала), охватывающим ролики 1, размещенные в крышках пневмоцилиндра. Внутри гильзы 4 цилиндра трос 3 жестко связан с поршнем 5, а снаружи – с кареткой 2, к которой и крепится перемещаемый объект.

Данное техническое решение, несмотря на свою относительную простоту, не получило широкого распространения. Данные пневмоцилиндры созданы для работы в транспортных системах, так как сохраняют рабочее пространство. Тросовый цилиндр занимает место лишь немногим больше собственного хода, в то время как обычный цилиндр при выдвинутом штоке требуют более чем в 2 раза большего места по сравнению с его собственным ходом (рис. 2.3.20).

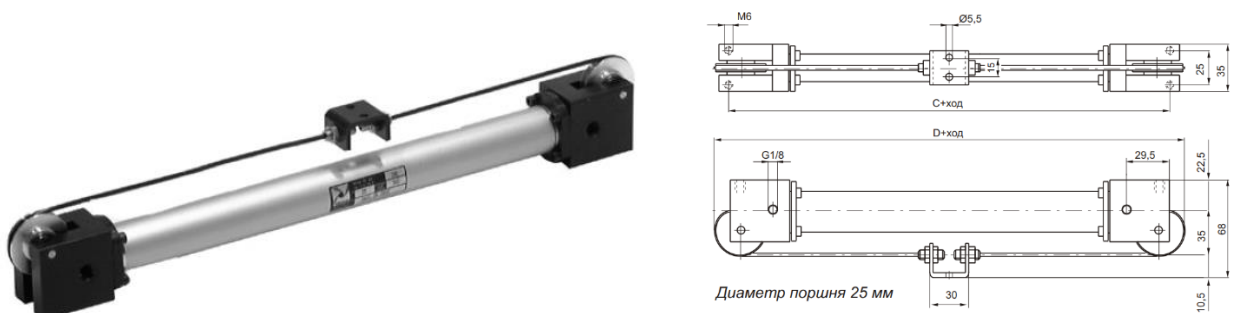


Рисунок 2.3.20 – Вариант конструкции пневмоцилиндра с гибким штоком

Пневмоцилиндр с магнитной муфтой

В пневмоцилиндрах с магнитной муфтой усилия, развиваемые поршнем, передаются на внешнюю каретку за счет сил магнитного взаимодействия (рис. 2.3.21).

Поршень имеет набор кольцевых постоянных магнитов, которые взаимодействуют с кольцевыми магнитами, расположенными в каретке, охватывающей гильзу. Если гильза

выполнена из немагнитного материала и является тонкостенной, то движение поршня (1-я полумуфта) сопровождается синхронным перемещением каретки (2-я полумуфта), к которой присоединен внешний объект (нагрузка).

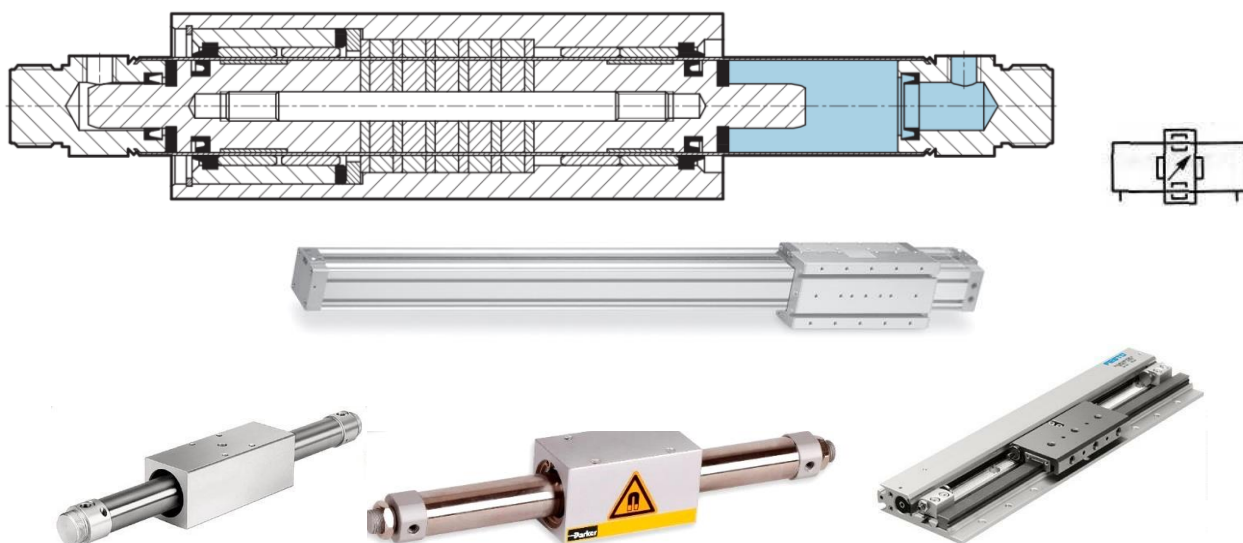
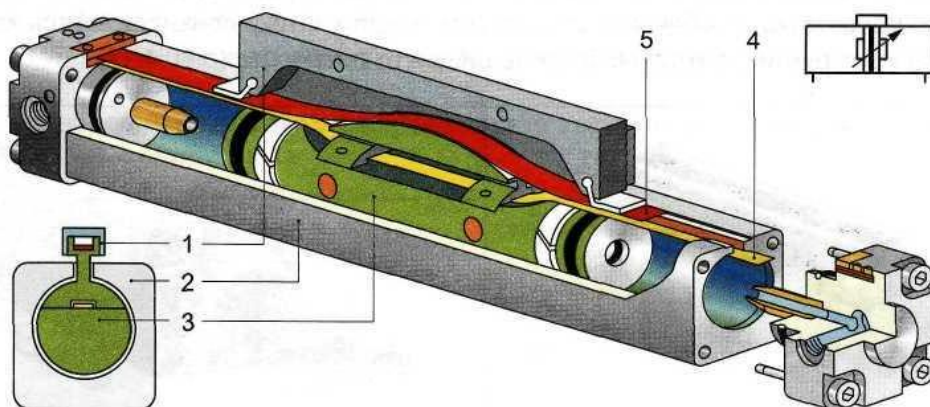


Рисунок 2.3.21 – Пневмоцилиндры с магнитной муфтой

По сравнению с конструкциями, в которых усилие с поршня на нагрузку передается механическим путем, в пневмоцилиндрах с магнитной муфтой при равных значениях диаметра цилиндра и давления питания развиваемое усилие приблизительно на 20% меньше. Кроме того, такие пневмоцилиндры чувствительны к случайным перегрузкам, которые могут привести к «разрыву» муфты.

Пневмоцилиндр с ленточным уплотнением

В настоящее время наиболее широко распространены бесштоковые пневмоцилиндры, в которых усилие механически передается на нагрузку непосредственно поршнем (рис. 2.3.22).



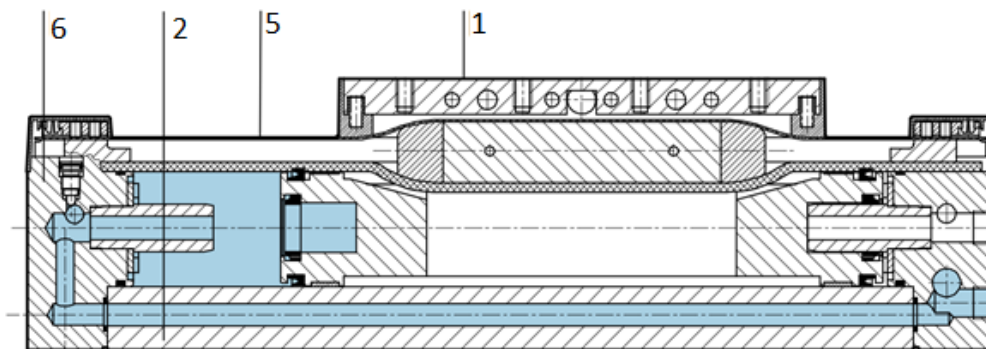


Рисунок 2.3.22 – Пневмоцилиндр с ленточным уплотнением

Гильза 2 пневмоцилиндра имеет сквозной продольный паз (по всей длине гильзы). Через этот паз поршень 3 механически связан с внешней кареткой 1 (т. е. поршень выполнен заодно с ней). С целью герметизации гильзы паз с ее внутренней стороны закрыт металлической либо синтетической лентой 4, закрепленной в крыш-ках. Чтобы пропустить поршень сквозь паз, часть ленты, расположенную между уплотнениями поршня, проводят через тело последнего под узкой частью. При работе пневмоцилиндра лента, неподвижная относительно его корпусных деталей, скользит в теле поршня, открывая паз в гильзе только в месте нахождения поршня. Чтобы предотвратить попадание загрязнителей из окружающей среды внутрь гильзы 3, продольный паз закрыт с внешней стороны защитной лентой 5, пропущенной через каретку 1.

При работе в условиях значительных радиальных нагрузок бесштоковые пневмоцилиндры с целью их разгрузки снабжают специальными направляющими (рис. 2.3.23а) или выполняют каретку таким образом, что она передает нагрузку на гильзу-корпус (рис. 2.3.23б). Подобное конструктивное исполнение позволяет обеспечить высокую точность направления движения каретки, защиту присоединенного объекта от проворота и некоторое возрастание значения полезной нагрузки на привод.

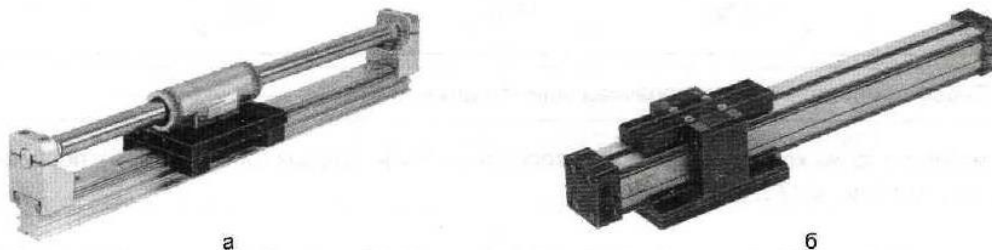


Рисунок 2.3.23 – Бесштоковые пневмоцилиндры с направляющими

Сильфонный пневмоцилиндр

Сильфонный пневмоцилиндр представлен на рис. 2.3.24.



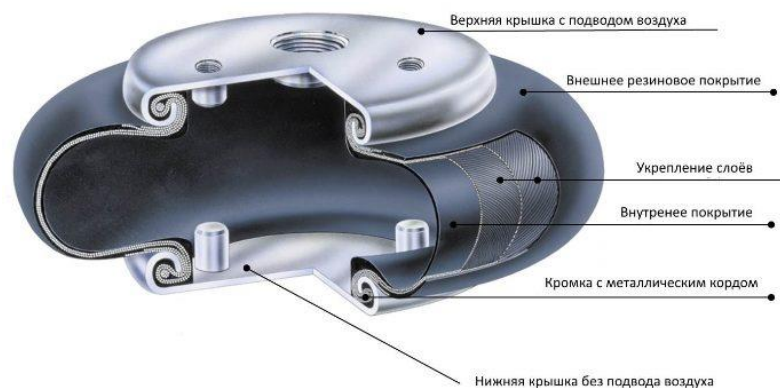


Рисунок 2.3.24 – Сильфонный пневмоцилиндр

Исполнительные устройства с управляющими распределителем представлены на рис. 2.3.25.

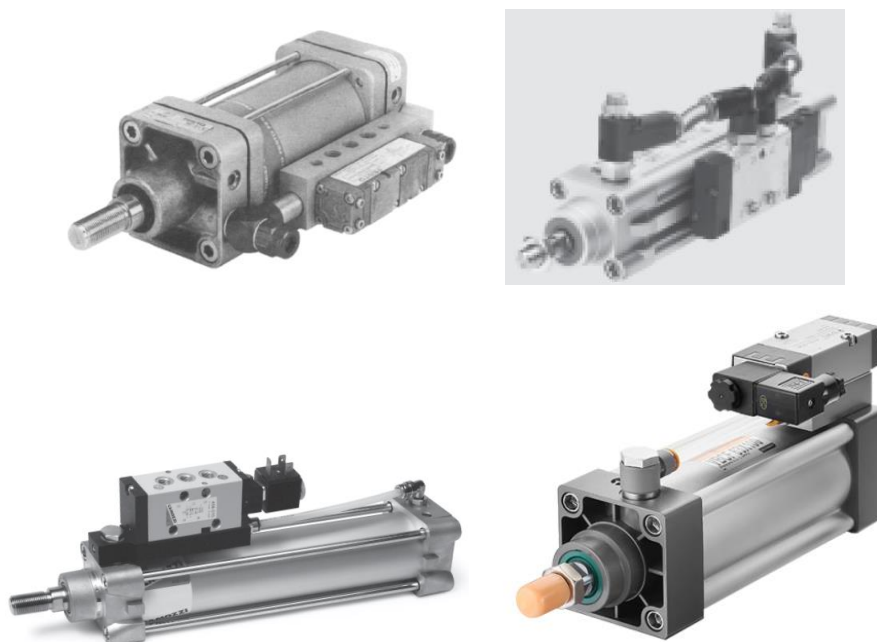


Рисунок 2.3.25 – Исполнительное устройство с управляющим распределителем

Цанговые зажимы

Цанговые зажимы (рис. 2.3.26) широко используют в автоматизированном станочном оборудовании для надежного зажатия и удержания тел вращения в процессе их обработки.

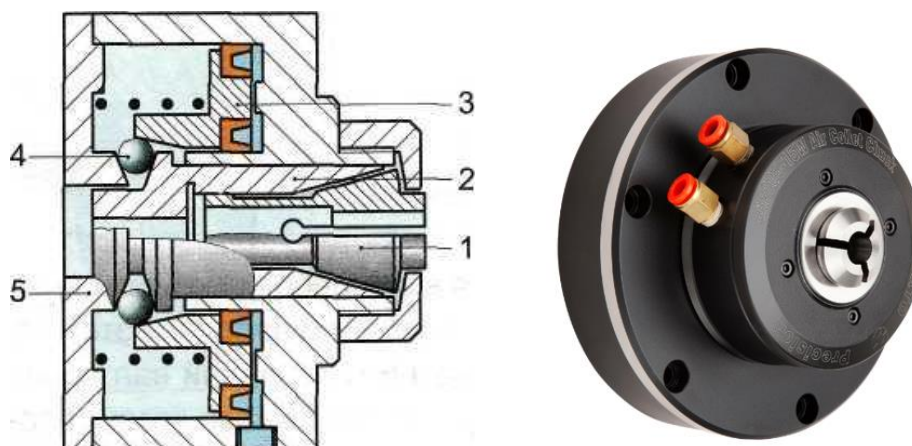


Рисунок 2.3.26 – Цанговый зажим

Цанговый зажим состоит из следующих основных деталей: цанги 1, обжимной втулки 2, кольцевого поршня 3 с пружинным возвратом, шариков 4 и корпуса 5.

При подаче сжатого воздуха в зажим поршень 3, сжимая возвратную пружину, перемещается влево и вдавливает шарики 4 в клиновидный зазор между корпусом 5 и обжимной втулкой 2, которая, в свою очередь, смещается вправо, сжимая лепестки цанги 1 и осуществляя зажатие детали.

Для разжатия заготовки сжатый воздух из поршневой полости сбрасывают в атмосферу, при этом поршень возвращается в исходное положение, освобождая шарики. В результате цанга разжимается, смещая обжимную втулку в исходную позицию.

Пневматические захваты

Практически любой робот-манипулятор снабжен захватным устройством, предназначенным для того, чтобы захватить какой-либо объект, удерживать его при перемещении и ориентации в пространстве, после чего отпустить в нужной точке.

На рис. 2.3.27 показана конструкция пневматического захвата с параллельным движением захватных пальцев.

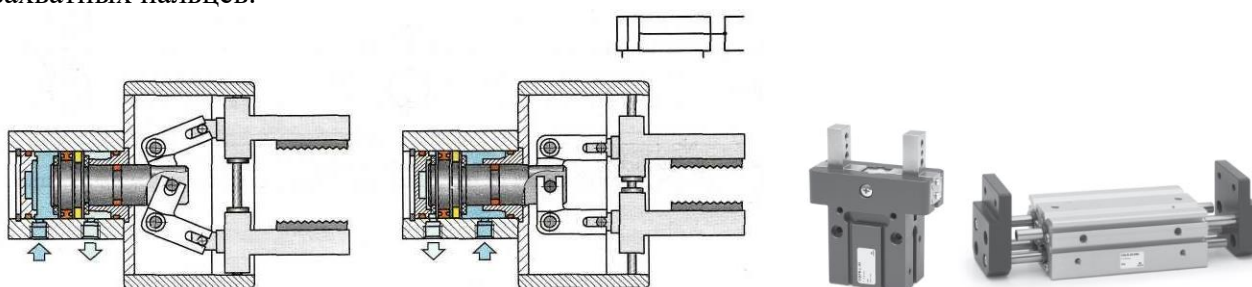


Рисунок 2.3.27 – Пневматический захват с параллельным движением пальцев

При подаче сжатого воздуха в поршневую полость пневмоцилиндра двустороннего действия шток выдвигается и через кулисный механизм разводит захватывающие пальцы. При обратном ходе поршня пальцы сводятся.

По конструктивному исполнению захваты подразделяются на параллельные (рис. 2.3.27), поворотные (рис. 2.3.28а) и трехточечные (рис. 2.3.28б).



Рисунок 2.3.28 – Пневматические захваты

Пневматические моторы

Пневматические двигатели вращательного действия получили распространение в значительном количестве отраслей в связи с определенными преимуществами как перед электродвигателями, так и гидромоторами.

Пневматические моторы имеют следующие преимущества перед электродвигателями:

- 1) Поскольку пневматические двигатели не требуют электроэнергии, их можно использовать в нестабильных атмосферах;
- 2) Обычно они имеют более высокую удельную мощность, поэтому пневматический двигатель меньшего размера может выдавать ту же мощность, что и его электрический аналог;
- 3) В отличие от электродвигателей, многие пневматические двигатели могут работать без необходимости использования вспомогательных редукторов;
- 4) Скорость пневмодвигателя можно регулировать с помощью простых клапанов регулирования расхода вместо дорогостоящих и сложных электронных регуляторов скорости;
- 5) Перегрузки, превышающие определенный момент, обычно не причиняют вреда пневматическим двигателям. В электродвигателях перегрузки могут привести к срабатыванию автоматических выключателей, поэтому оператор должен сбросить их перед перезапуском оборудования. Пневматические двигатели не нуждаются в магнитных пускателях, защите от перегрузки или множестве других вспомогательных компонентов, необходимых электродвигателям;
- 6) Крутящий момент пневматического двигателя можно изменять, просто регулируя давление;
- 7) Пневматические двигатели выделяют гораздо меньше тепла, чем электродвигатели;

Электродвигатели в свою очередь также обладают некоторыми преимуществами перед пневматическими двигателями:

- 1) Если для конкретного применения не существует подходящего источника сжатого воздуха, стоимость пневматического двигателя и связанного с ним вспомогательного оборудования (компрессора с приводом от двигателя, элементов управления, фильтров, клапанов и т. д.) превысит стоимость электродвигателя и его вспомогательного оборудования;
- 2) Пневматические двигатели потребляют относительно дорогой сжатый воздух, поэтому стоимость их эксплуатации, вероятно, будет выше, чем стоимость эксплуатации электродвигателей;

3) Несмотря на то, что электронные средства управления скоростью увеличивают стоимость приводов электродвигателей, они контролируют скорость более точно (в пределах $\pm 1\%$ от желаемой скорости), чем средства управления пневматическими двигателями;

4) Пневматические двигатели, работающие непосредственно от пневматической системы предприятия, чувствительны к изменениям скорости и крутящего момента, если расход и давление в системе колеблются.

Пневматические моторы подразделяют на:

1) Объемные (ротационные и поршневые);





К ротационным относят: шиберные и шестеренные пневмомоторы.

К поршневым: радиально-поршневые и аксиально-поршневые.

2) Турбинные.

Виды и обозначение пневмомоторов представлены в таб. 2.2.3.

Таблица 2.2.3 – Пневмомоторы

Вид пневмомотора	Обозначение
Пневмомотор с постоянным рабочим объемом и одним направлением вращения (нереверсивный)	
Ревверсивный нерегулируемый пневмомотор	
Нереверсивный регулируемый	
Ревверсивный пневмомотор с регулируемым рабочим объемом	

Шиберные (лопастные) пневмомоторы

Роторно-лопастные двигатели обычно используются в приложениях, требующих выходной мощности от низкой до средней мощности. Простые и компактные лопастные двигатели чаще всего приводят в действие портативные электроинструменты, но, безусловно, также используются во многих приложениях для смешивания, привода, поворота и вытягивания.

Лопастные двигатели имеют осевые лопасти, вставленные в радиальные пазы, проходящие по всей длине ротора, который установлен эксцентрично относительно отверстия корпуса двигателя, рис. 2.3.29. Лопасти смещаются для уплотнения с внутренней стенкой корпуса с помощью пружин, кулачков или давление воздуха в зависимости от конструкции. Центробежная сила, возникающая при вращении ротора, способствует уплотнению. Крутящий момент развивается под действием давления, действующего на одну сторону лопаток. Крутящий момент на выходном валу пропорционален площади открытой лопатки, давлению и плечу момента (радиусу от центральной линии ротора до центра открытой лопатки), через который действует давление.

Роторно-лопастные пневматические двигатели доступны с тремя-десятью лопастями. Увеличение количества лопаток уменьшает внутренние утечки или выбросы газов, а также делает выходной крутящий момент более равномерным и надежным на более низких скоростях. Однако большее количество лопастей увеличивает трение, стоимость двигателя и снижает эффективность.

Если в трехлопастной конструкции одна лопасть застрянет во втянутом положении, это может помешать запуску пневматического двигателя под нагрузкой. Пружинное прижатие лопастей к стенке корпуса, подача сжатого воздуха к основанию лопастей или кулачковое основание лопасти предотвращают эту проблему, как и использование двигателя с четырьмя или более лопастями.

Поскольку лопасти скользят по стенке корпуса, многим лопастным двигателям требуется смазанный воздух, особенно если за короткими рабочими циклами следуют длительные периоды простоя. Однако все больше и больше двигателей по-прежнему проектируются для работы на несмазанном воздухе для обслуживания критически важных приложений и экологических проблем.

Следует избегать эксплуатации нерегулируемых лопастных пневмодвигателей без нагрузки на высокой скорости. Когда многолопастный двигатель работает без регулирования и без нагрузки, его высокая скорость может нагревать и обугливать кончики лопастей, поскольку они трутся о стенку цилиндра. Также следует ожидать ненормального износа и повреждения других частей двигателя.

От числа пластин шибера пневмомотора зависят его коэффициент полезного действия (КПД), условия пуска и быстрота разгона (приемистость), а также равномерность вращения. Стандартные конструкции имеют 3 – 5 пластин, в специальных случаях их число увеличивают до 10. Выпускаются как реверсивные, так и нереверсивные пластинчатые пневмомоторы.

К недостаткам шиберных пневмомоторов относятся необходимость обильной смазки и невысокую герметичность рабочих камер, что приводит к возникновению утечек, а следовательно, к снижению КПД. Диапазон мощностей пластинчатых пневмомоторов составляет 0,05 – 20 кВт, диапазон частот вращения – 30 – 20000 об/мин.

Часто в конструкцию пластинчатого пневмомотора входят дополнительные узлы: редуктор (обычно планетарный), обеспечивающий необходимую потребителю частоту вращения, и центробежный регулятор. Последний позволяет ограничить частоту вращения на холостом ходу и обеспечить в определенных пределах ее постоянство при колебаниях нагрузки.

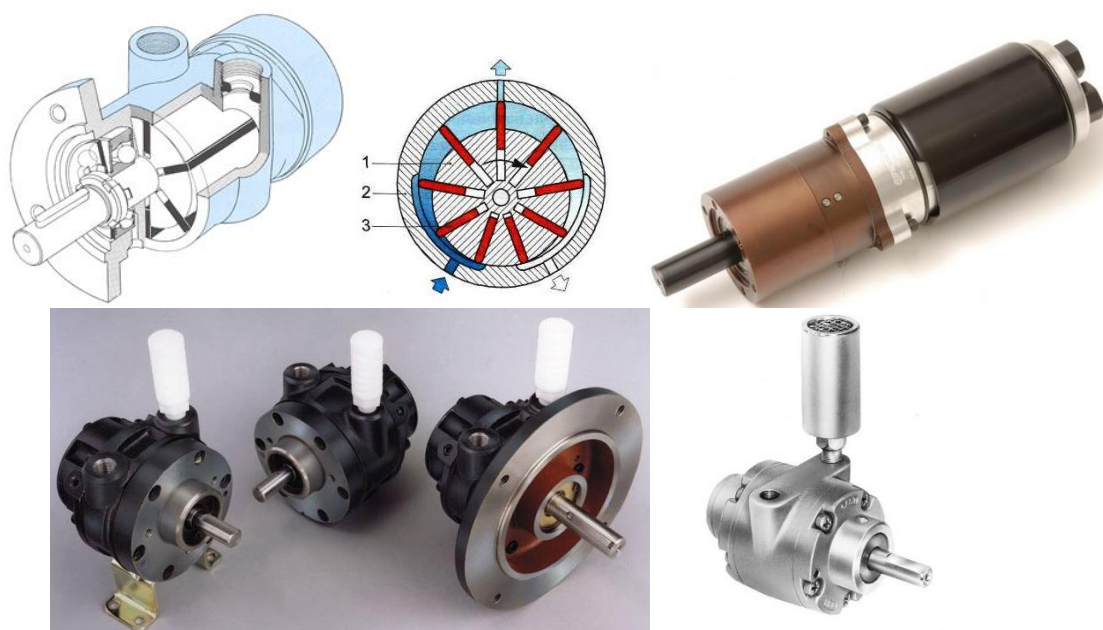


Рисунок 2.3.29 – Шиберные (лопастные) пневмомоторы

При подаче сжатого воздуха в рабочую камеру пневмомотора возникают силы, которые действуют на пластины 3, ограничивающие объем камеры. Вследствие эксцентричного расположения ротора 1 относительно статора 2 площади пластин различны, поэтому различаются по величине и действующие на них силы. В точке, после прохождения которой объемы рабочих камер начинают уменьшаться, выполнено отверстие для сброса отработавшего воздуха. От равнодействующей всех приложенных сил возникает крутящий момент, приводящий к повороту ротора, в процессе которого увеличиваются объемы части

рабочих камер, благодаря чему содержащийся в этих камерах сжатый воздух расширяется. Совершаемая при этом работа расширения преобразуется в дополнительную механическую энергию вращения ротора.

Шестеренные пневмомоторы

Изображение шестеренного пневмомотора представлено на рис. 2.3.30.

В корпусе 3 шестеренного пневмомотора расположены две находящиеся в зацеплении шестерни 1 и 2 (зубчатые колеса), причем одна из них закреплена на выходном валу или выполнена заодно с ним, а другая свободно вращается на опорах, установленных в корпусе.



Рисунок 2.3.30 – Шестеренный пневмомотор

Сжатый воздух, подаваемый в рабочую камеру, действует на боковые поверхности зубьев шестерен. Возникающие при этом силы, равные произведению давления сжатого воздуха на площадь боковой поверхности зуба, вызывают поворот шестерен, одна из которых вращается по часовой стрелке, а другая – в противоположном направлении. Шестерни могут иметь прямые, косые или шевронные зубья. В случае применения косозубых или шевронных шестерен объемы рабочих камер изменяются в процессе поворота, в связи с чем появляется возможность использовать работу расширения сжатого воздуха.

Максимальная номинальная мощность шестеренных пневмомоторов достигает 70 кВт (для моторов с шевронными шестернями – 330 кВт), номинальная частота вращения обычно не превышает 1000 – 3000 об/мин.

Область применения шестеренных пневмомоторов достаточно широка: угольная промышленность (приводы конвейеров, лебедок), химическая промышленность (приводы насосов), металлургия (приводы конвертеров, карусельных печей и другого оборудования), тяжелая промышленность (пусковые двигатели для дизелей) и т. д.

Поршневые пневматические двигатели

Поршневые пневматические двигатели используются в приложениях, требующих высокой мощности, высокого пускового момента и точного контроля скорости на низких скоростях. Они имеют два, три, четыре, пять или шесть цилиндров, расположенных аксиально или радиально внутри корпуса. Выходной крутящий момент создается давлением, действующим на поршни, совершающие возвратно-поступательное движение внутри цилиндров.

Двигатели с четырьмя или более цилиндрами обеспечивают относительно плавный крутящий момент на заданной рабочей скорости, поскольку импульсы мощности перекрываются: два или более поршней совершают рабочий ход в любой момент в пределах оборота. Двигатели с перекрывающимися рабочими ходами и точной балансировкой не подвержены вибрации на всех скоростях.

Мощность, развиваемая поршневым двигателем, зависит от давления на входе, количества поршней, площади поршня, хода и скорости. При любом заданном входном давлении большую мощность можно получить от двигателя, который работает на более высокой скорости, имеет больший диаметр поршня, большее количество поршней или более длинный

ход. Ограничивающими факторами являются инерция движущихся частей (которая оказывает большее влияние в радиально-, чем в аксиально-поршневых двигателях) и конструкция клапана, регулирующего впуск и выпуск в поршни.

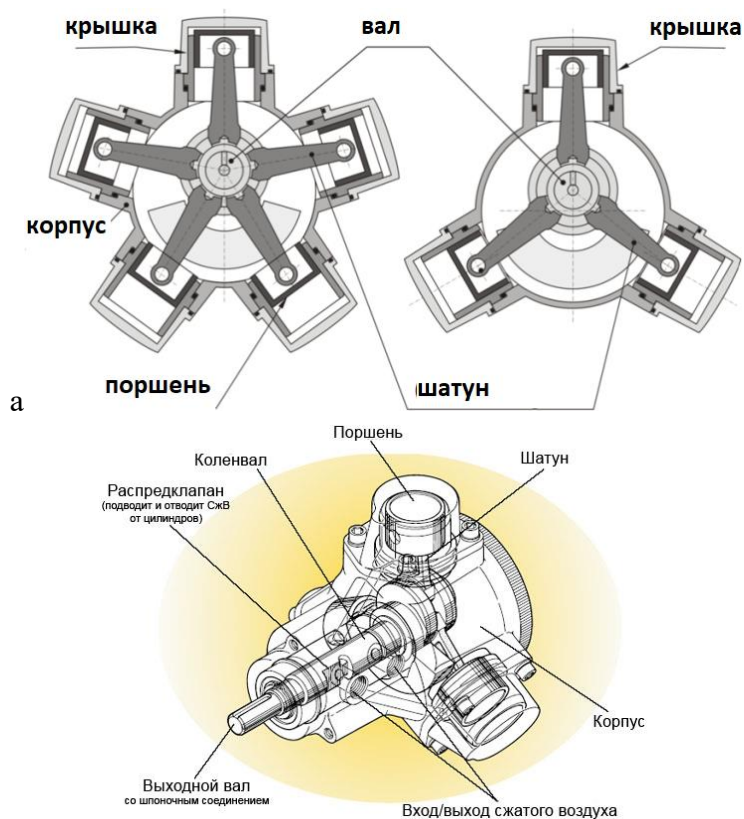
Радиально- и аксиально-поршневые двигатели имеют одно существенное ограничение: они имеют внутреннюю смазку.

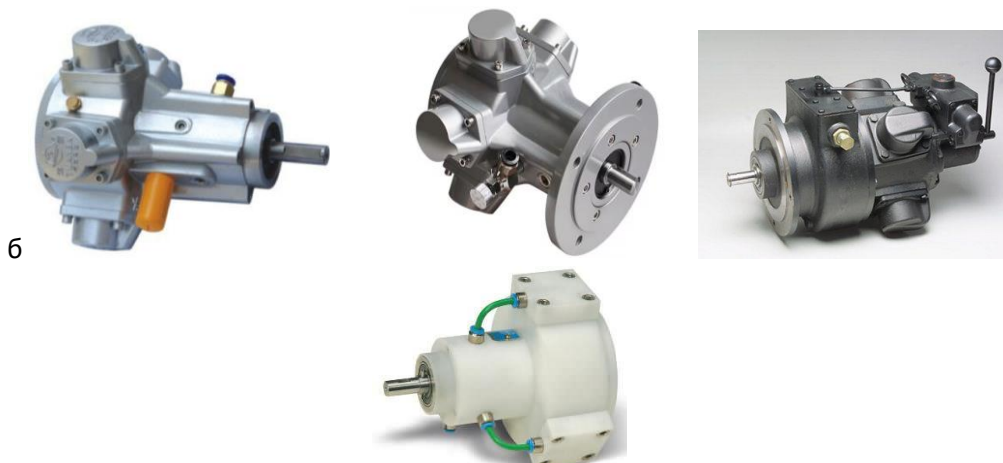
Радиально-поршневые двигатели имеют прочную конструкцию с масляной смазкой и хорошо подходят для непрерывной работы. Они имеют самый высокий пусковой момент среди всех пневматических двигателей и особенно полезны для применений, связанных с высокими пусковыми нагрузками. Перекрывающиеся импульсы мощности обеспечивают плавный крутящий момент как в прямом, так и в обратном направлении.

Радиально-поршневые пневмомоторы

Радиально-поршневые пневмомоторы довольно сложны по конструктивному исполнению, тихоходны (20 – 700 об/мин), имеют большие габариты и массу по сравнению с другими типами двигателей. При этом они обеспечивают значительную величину крутящего момента, а следовательно, как нельзя лучше подходят в тех случаях, когда требуется преодолевать большие нагрузки. Обычно они имеют от 4 до 6 поршней, а диапазон мощностей составляет 1 – 20 кВт.

Радиально-поршневые пневмомоторы показаны на рис. 2.3.31.





6

Рисунок 2.3.31 – Радиально-поршневые пневмомоторы

Радиально поршневой пневматический мотор представленный на рисунке 16 имеет следующие характерные параметры: мощность 0,5 л.с., номинальная частота вращения 720 об/мин, частота вращения на холостых оборотах 1440 об/мин, крутящий момент 4,9 Н·м, стартовый момент 7,9 Н·м, момент торможения 9,86 Н·м, максимальное потребление воздуха 406 л/мин, вал 16 мм.

Радиально-поршневые пневмомоторы применяют в больших подъемниках, в приводах различных транспортных средств.

Аксиально-поршневые пневмомоторы

В аксиально-поршневых пневмомоторах поршни движутся параллельно оси выходного вала.

Конструкции аксиально-поршневых пневмомоторов представлены на рис. 2.3.32 и 2.3.33.

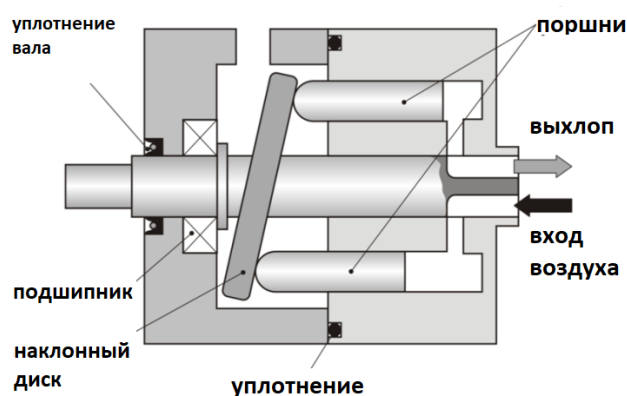
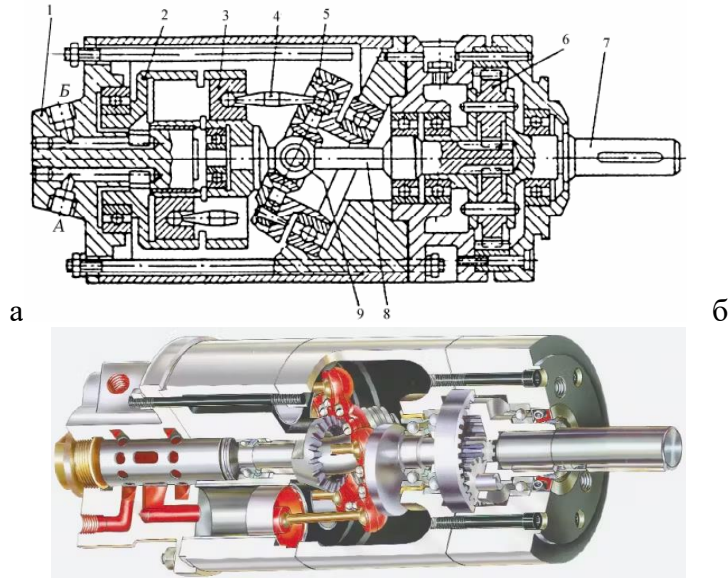


Рисунок 2.3.32 – Конструкция аксиально-поршневых пневмомоторов

Конструктивная схема аксиально-поршневого пневмомотора с зубчатым редуктором и его внешний вид представлены на рис.



а) конструкция; б) внешний вид; 1 – крышка; 2 – цилиндрический блок; 3 – поршень; 4 – шток; 5 – наклонная планшайба; 6 – шестерня; 7 – выходной вал; 8 – шлицевый вал; 9 – карданный шарнир

Рисунок 2.3.33 – Аксиально-поршневой пневмомотор

Конструкция аксиально-поршневого мотора с одноступенчатым редуктором представлена на рисунке 1. Поршни 3, связанные шатунами 4 с наклонной шайбой помещены в расточки блока цилиндров 2. Распределительная ось выполнена за одно целое с крышкой 1, имеющей отверстия подвода и отвода воздуха. Сжатый воздух по одному из каналов А подводится в рабочие цилиндры. Усилие от давления сжатого воздуха на поршни через шатун передается на наклонную шайбу 5. Тангенциальная составляющая этого усилия заставляет шайбу и блок поворачиваться, при этом вращается вал 8, который связан фланцем с блоком цилиндров и силовым карданом 9 с наклонной шайбой. Отработанный воздух из рабочих камер выходит через второй канал А в распределительной оси, а также через канал Б в блоке цилиндров. На конце вала 8 нарезаны зубья, находящиеся в зацеплении с зубчатыми колесами 6 планетарного редуктора. Водило 7 редуктора является выходным валом пневмомотора.

Схемы включения пневмомоторов представлены на рис. 2.3.34.

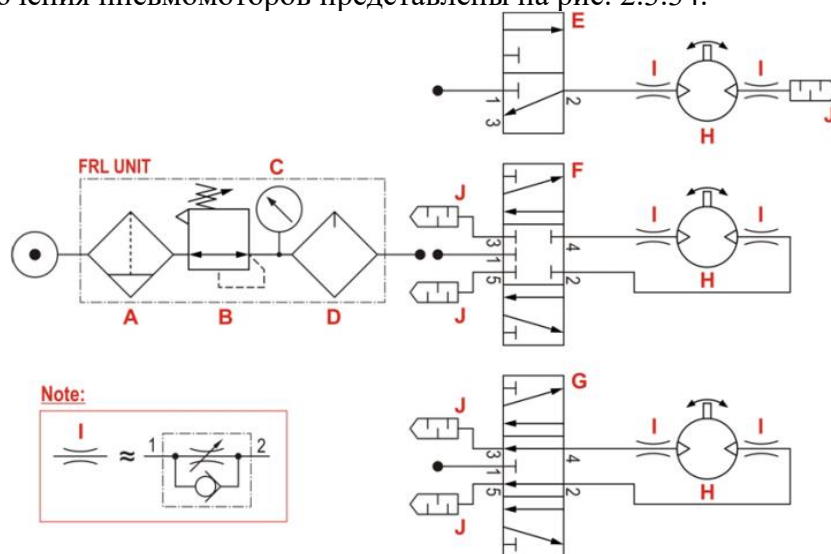
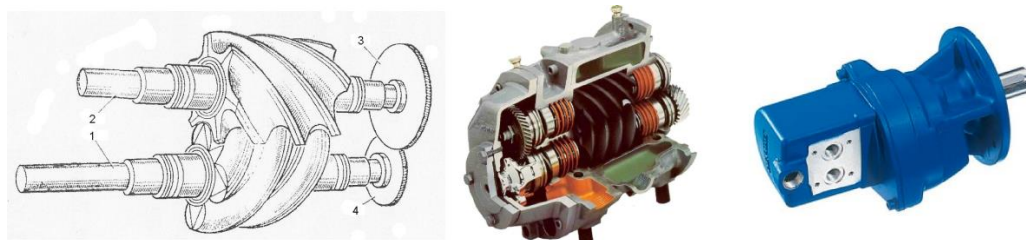


Рисунок 2.3.34 – Схемы включения пневмомоторов

Винтовые пневмомоторы

На рис. 2.3.35 показаны элементы конструкции винтового пневмомотора. Винт 1 с выходным валом – четырехзаходный, профиль его зубьев образован выпуклыми полуокружностями; винт 2 имеет шесть зубьев, профиль которых выполнен в виде вогнутых полуокружностей. Синхронизирующие косозубые колеса 3 и 4 предохраняют от силового контакта между винтами, что предотвращает их износ, при этом можно не предъявлять высоких требований к качеству их смазывания.

Вследствие спирального расположения зубьев процесс взаимодействия винтов протекает непрерывно, поэтому развиваемый крутящий момент является плавным, без пульсаций. Вибрации при работе мотора отсутствуют. Отсутствие силового контакта винтов, относительно малый диаметр винтов, применение подшипников качения обеспечивают частоту вращения валов в винтовых пневмомоторах до 15000 об/мин. Винтовые моторы долговечны, компактны, быстроходны, развивают плавный крутящий момент, имеют относительно высокий КПД, не требуют смазывания при работе, однако высокая сложность их изготовления и, как следствие, высокая стоимость сдерживают широкое применение моторов этого типа в промышленности.



а) конструкция; б) внешний вид; 1 – винт с выходным валом; 2 – винт без вала; 3, 4 – синхронизирующие косозубые колеса

Рисунок 2.3.35 – Элементы конструкции винтового пневмомотора

Пневматический двигатель героторного типа показан на рис. 2.3.36. Героторные пневматические двигатели (рис. 2.3.36) обеспечивают высокий крутящий момент на низкой скорости без дополнительной передачи. В сочетании с двухступенчатой орбитальной планетарной передачей силовые элементы геротора обеспечивают крутящий момент уже на скоростях до 20 об/мин. Эти двигатели хорошо подходят для применения в опасных средах, где в ограниченном пространстве требуется относительно высокий крутящий момент.

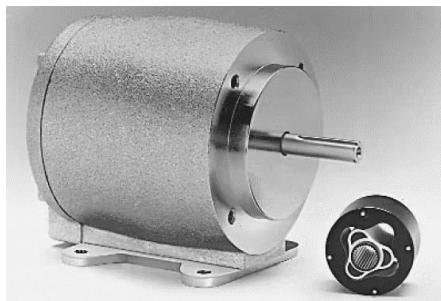


Рисунок 2.3.36 – Пневматический двигатель героторного типа

Низкая инерция вращения геротора обеспечивает мгновенный запуск, остановку или изменение направления при смещении клапана, питающего двигатель. Кроме того, конструкция предотвращает выбег или обратный ход двигателя, что позволяет исключить необходимость во внешних тормозах. Как и лопастные двигатели, они гораздо менее чувствительны к ориентации установки, чем поршневые двигатели.

Турбинные пневмомоторы

КПД пневматического двигателя определяется как отношение фактической выходной мощности к теоретической мощности, доступной от сжатого воздуха для степени расширения, при которой работает машина. Турбины преобразуют пневматическую энергию в механическую с КПД примерно от 65% до 75%. КПД турбины выше, чем у других пневмодвигателей, поскольку не происходит скользящего контакта деталей, вызывающего внутреннее трение. В результате нет необходимости в интенсивной смазке. Отсутствие смазочного масла значительно улучшает характеристики в холодную погоду.

До недавнего времени турбинные пневматические двигатели обычно использовались там, где требовалась очень высокая скорость и очень низкий пусковой момент: наиболее типичными были стоматологические бормашины и стартеры реактивных авиационных двигателей. Однако теперь турбинная технология применяется для запуска малых, средних и больших поршневых двигателей. Турбинная технология предлагает простые, высокоэффективные пневматические стартеры, которые не требуют смазки приточного воздуха, устойчивы к загрязнениям в приточном воздухе и не требуют особого обслуживания. Стартеры турбин оснащены планетарным редуктором, позволяющим снизить высокую скорость вращения ротора турбины до нормальной скорости запуска двигателя.

В работе пневмотурбинного двигателя используется сопло, которое направляет и дозирует воздух к турбинному колесу или ротору. Он изменяет поток воздуха с высоким давлением и низкой скоростью на поток воздуха с низким давлением и высокой скоростью. Массовый расход воздуха, проходящего через турбину, определяет ее мощность. Изменение количества сопел или проходов сопел пропорционально изменяет выходную мощность. Если стартер с 16 форсунками уменьшить до 8, то измененный стартер будет выдавать половину мощности исходного. Таким образом, в рамках одной и той же базовой конфигурации стартера можно сконструировать множество моделей, которые имеют широкий диапазон входного давления, скорости проворачивания, а также крутящих моментов проворачивания или остановки. Эта возможность в сочетании с различными редукторами позволяет производить недорогие стартеры для широкого спектра применений.

В турбинных пневмомоторах кинетическая энергия потока сжатого воздуха преобразуется в механическую энергию вращения выходного вала.

Турбинные пневмомоторы позволяют получать очень высокие частоты вращения (80000 - 400000 об/мин) выходного вала и небольшие крутящие моменты на нем по сравнению со частотами и моментами, достигаемыми при использовании, например, поршневых пневмомоторов. Турбинные моторы применяют для реализации высокоскоростного движения.

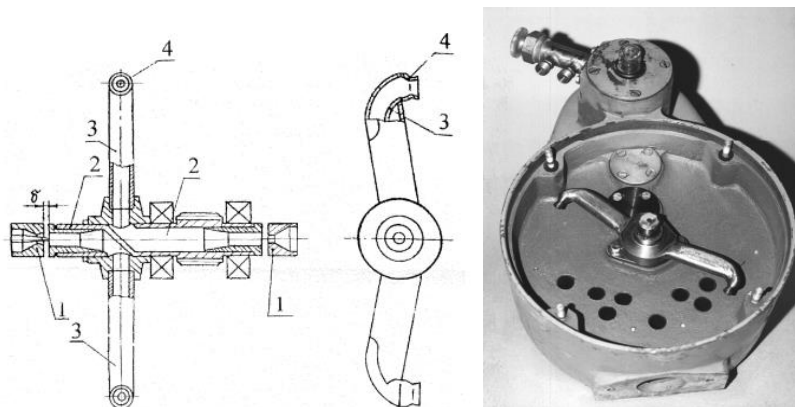
Турбинный пневмомотор с осевой турбиной показан на рис. 2.3.37.



1 – выходной вал; 2 – корпус; 3 – сопловой аппарат; 4 – рабочее колесо; 5 – бандажное кольцо

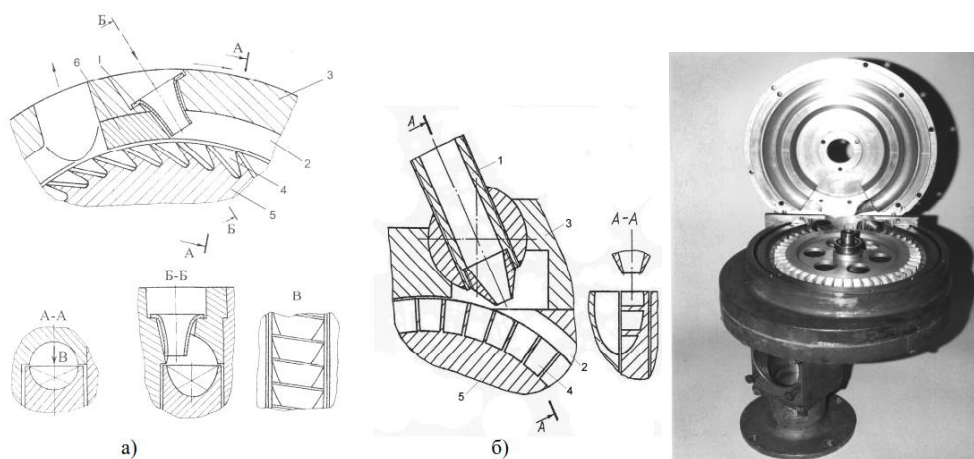
Рисунок 2.3.37 – Турбинный пневмомотор с осевой турбиной

Конструктивная схема реверсивной струйно-реактивной турбины представлена на рис. 2.3.38.



1 – питающее сопло; 2 – полый ротор; 3 – газовый тракт; 4 – тяговое сопло
Рисунок 2.3.38 – Конструктивная схема реверсивной струйно-реактивной турбины

Вихревая турбина (рис. 2.3.39), в сравнении с осевой или центростремительной, проще по конструкции, технологичнее и дешевле в изготовлении. Оптимальная частота вращения вихревой турбины меньше оптимальной частоты вращения классической турбины. Вихревой пневмомотор имеет более высокое отношение пускового момента к номинальному (по этому показателю он уступает только поршневому пневмомотору). КПД вихревых турбин, полученный в настоящее время, составляет (30 – 40) %.



а) с внешним периферийным каналом; б) с периферийно-боковым каналом;
1 – сопло; 2 – рабочий канал; 3 – корпус; 4 – межлопаточный канал; 5 – рабочее колесо; 6 – отсекатель

Рисунок 2.3.39 – Конструктивная схема вихревой турбины

Турбина состоит из сопла 1, рабочего колеса 5 и корпуса 3, в котором выполнены рабочий канал 2 и выходное отверстие. Между соплом и выходным отверстием установлен отсекатель (разделитель) 6.

Вихревые пневмомоторы применяются в пневмоинструменте, в турбогенераторах небольшой мощности (в частности, в качестве аварийных турбогенераторов на газораспределительных станциях магистральных газопроводов).

Поворотные пневматические двигатели

В технике существует довольно широкий круг задач, в которых требуется не линейное перемещение выходного звена исполнительного механизма, а поворот его на заданный угол. Условное графическое обозначение поворотных пневмодвигателей представлено на рис. 2.3.40.



а – общее; б – с демпфированием в конце хода

Рисунок 2.3.40 – Условное графическое обозначение поворотных пневмодвигателей

Угол поворота, как правило, ограничен, и значение его находится в диапазоне от 0 до 360 градусов. Для решения указанных задач применяют поворотные пневматические двигатели (пневмодвигатели), чаще всего поршневые или шиберные.

Поршневой поворотный пневмодвигатель с реечной передачей (рис. 2.3.41) выполняют на базе передачи «шестерня – рейка». Шестерня 3 устанавливается на выходном валу 4, входит в зацепление со штоком-рейкой 2, который жестко связан с поршнями 1 двух разнонаправленных цилиндров одностороннего действия.



Рисунок 2.3.41 – Поршневой поворотный пневмодвигатель с реечной передачей

Шиберный (с лопастью) поворотный пневмодвигатель показан на рис. 2.3.42.

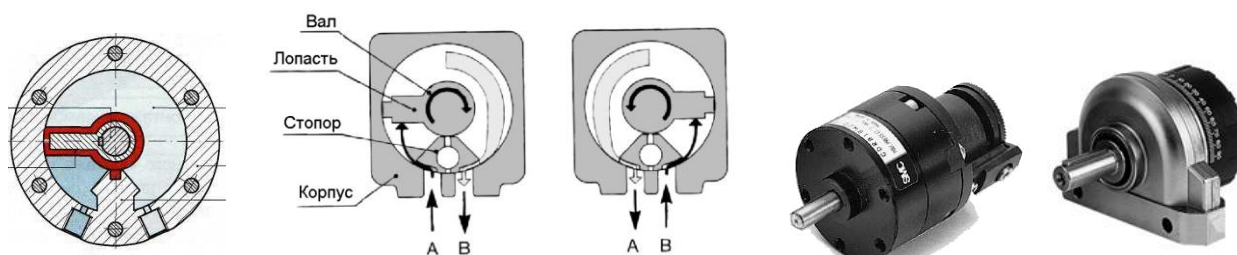
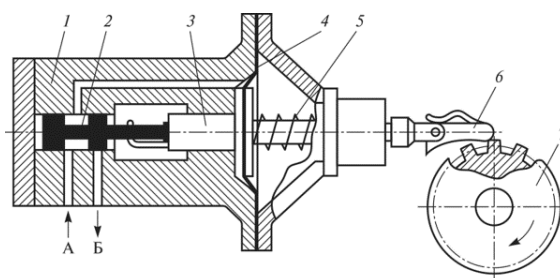


Рисунок 2.3.42 – Шиберный (с лопастью) поворотный пневмодвигатель

Мембранные (шаговые) пневмомоторы

С помощью мембранного пневмомотора (рис. 2.3.43) можно получить шаговое (импульсное) вращение исполнительного органа. Работа его происходит следующим образом.

При подаче сжатого воздуха во входной канал А мембрана 5 прогибается вправо и перемещает толкатель 6, который проворачивает зубчатое колесо 7 исполнительного механизма на определенный угол. Вместе с мембраной 4 перемещается связанный с ней шток 3. Последний соединен также и с плунжером 2, который в конце хода мембраны перекрывает канал А и открывает выходной канал Б, выпускающий воздух в атмосферу. Вследствие связи полости слева от мембраны с атмосферой давление сжатого воздуха падает до нуля, под действием пружины 5 шток 3, толкатель 6 и плунжер 2 возвращаются назад, снова открывая канал А и закрывая канал Б. Под мембрану 4 опять начнет поступать сжатый воздух, и цикл поворота повторится.



1 – корпус; 2 – плунжер; 3 – шток;
4 – мембрана; 5 – пружина; 6 – толкатель; 7 – зубчатое колесо

Рисунок 2.3.43 – Мембранный пневмомотор

Мембранные пневмомоторы имеют высокий крутящий момент при низкой скорости вращения и резкое его падение при увеличении скорости, поэтому они широко применяются в приводах клапанной арматуры, где максимальные усилия необходимы в начальный момент открытия клапана, а затем требуемые усилия резко снижаются.

При постоянном давлении на входе тормозная мощность пневматического двигателя равна нулю при нулевой скорости. Мощность увеличивается с увеличением скорости, пока не достигнет пика примерно на 50 % от скорости холостого хода (максимальная скорость в условиях холостого хода), рисунок 4.

В пиковой точке уменьшение крутящего момента уравнивает увеличение скорости. Мощность снижается до нуля, когда крутящий момент равен нулю, поскольку вся мощность входящего воздуха используется для подачи объема воздуха, необходимого для поддержания этой скорости, через двигатель.

На практике крутящий момент достигает своего максимального значения вскоре после нулевой скорости (рис. 2.3.44) и быстро падает, пока не достигнет нуля на холостом ходу.

Пусковой момент – это максимальный крутящий момент, который двигатель может развивать под нагрузкой. Это около 75% крутящего момента срыва. Для запуска пневматического двигателя требуется больший крутящий момент, чем для его поддержания. Не путайте срывной и пусковой моменты. Если нагрузка пневматического двигателя превышает его пусковой момент, двигатель не запустится.

Крутящий момент, максимальный крутящий момент пневматического двигателя, примерно в два раза превышает крутящий момент при номинальной мощности

При эксплуатации пневмомоторов существенное значение имеет такой установившийся режим, при котором достигается максимальная производительность машины. Этому режиму соответствуют статические характеристики крутящего момента M , мощности N и общего КПД (рисунок 2.3.44).

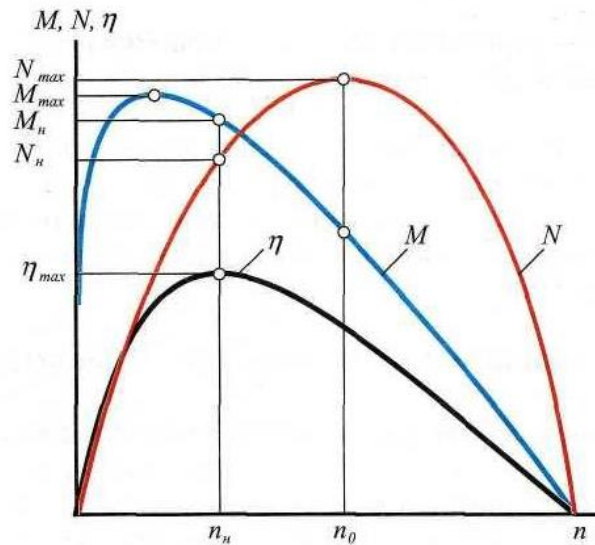


Рисунок 2.3.44 – Основные рабочие характеристики пневмомоторов

Как видно на рис. мощность пневмомотора достигает максимального значения N_{max} при частоте вращения $n_0 \sim 0,5n_{xx}$ (где n_{xx} – частота вращения при холостом ходе), крутящий момент имеет наибольшее значение M_{max} при частоте вращения, близкой к нулю.

Номинальной частотой вращения пневмомотора считают такое ее значение, при котором имеет место максимум КПД мотора. Для объемных двигателей общего назначения $n_n = (0,30 \dots 0,35) n_{xx}$.

Использование гайковерта с пневмомотором показано на рис. 2.3.45.



Рисунок 2.3.45 – Использование гайковерта с пневмомотором

Пневмовытеснители и пневмогидропреобразователи

Пневмовытеснители предназначены для передачи давления сжатого воздуха рабочей жидкостью без изменения величины давления. Они бывают: без разделителя сред и с

поршневым (рис. 2.3.46а) или мембранным разделителями. Пневмовытеснитель без разделителя сред представляет собой закрытый сосуд, верхняя часть которого сообщена с пневмосистемой через распределитель, а нижняя - с гидроцилиндром. Пневмогидропреобразователи предназначены для преобразования энергии сжатого воздуха в энергию рабочей жидкости с другими значениями давления. Они подразделяются на поршневые (рис. 2.3.46 б), мембранные и комбинированные.

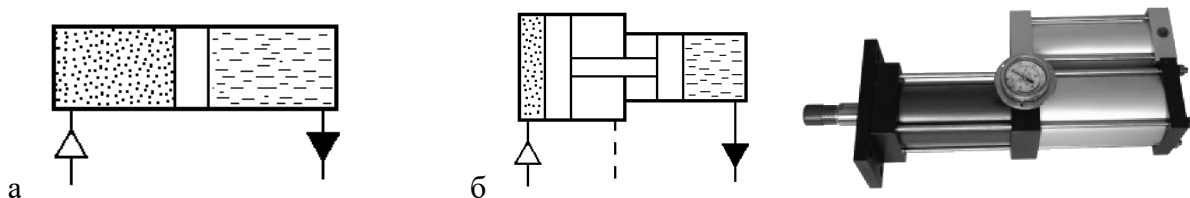
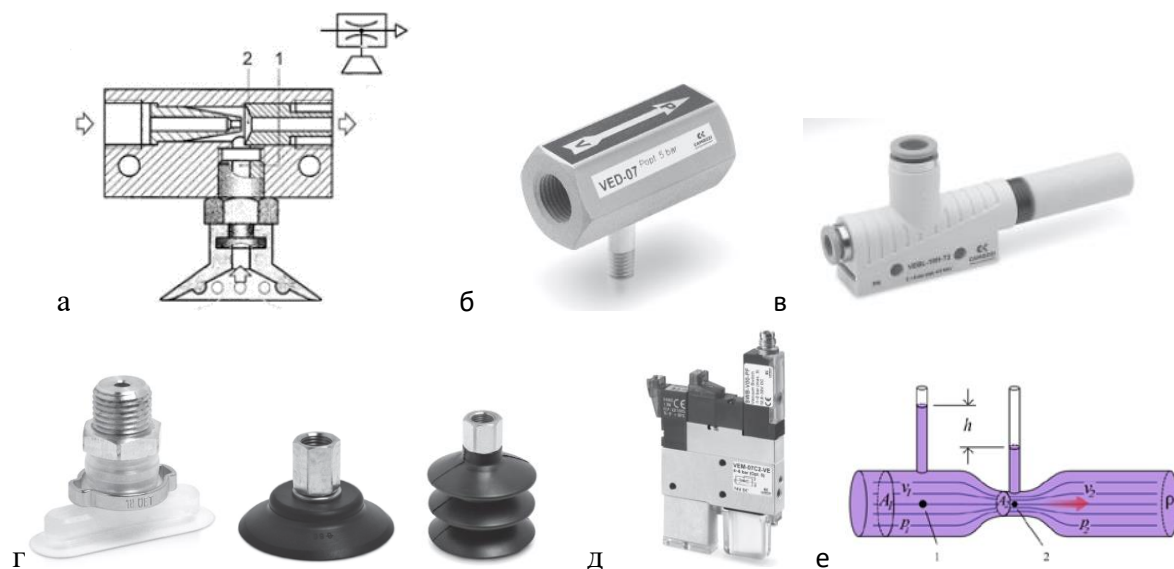


Рисунок 2.3.46 – Схема поршневого вытеснителя (а) и пневмогидропреобразователя (б)

Вакуумные захваты

В вакуумных захватах объект удерживается вследствие разрежения, создаваемого в полости между эластичным захватом (присоской) и поверхностью самого объекта (рис. а), при этом для получения вакуума в захвате важно, чтобы последняя была достаточно гладкой и плотной. В заводских сетях для создания вакуума используют вакуум-насосы. В этих условиях присоска вакуумного захвата должна управляться аппаратурой, способной работать с давлениями, ниже атмосферного. В случаях, когда необходимо обеспечить вакуум на конкретном участке технологического оборудования, применяют эжекторы (рис. 2.3.47), которые позволяют создавать вакуум в рабочем канале до $-0,09$ МПа ($-0,9$ бар) при давлении на входе $0,7$ МПа (7 бар). Принцип действия эжектора заключается в понижении давления на тех участках трубопровода, где воздух движется с большими скоростями (в соответствии с уравнением Бернулли). При протекании по каналу 2 сжатый воздух эжектирует (вовлекает в поток) воздух из камеры 1, в результате чего в ней возникает разрежение.



а – конструкция и условное графическое обозначение вакуумного захвата с эжектирующим устройством; б – магистральный эжектор; в – вакуумный эжектор из технополимера; г – виды присосок; д – вакуумный генератор со встроенным распределителем; е – иллюстрация принципа Вентури

Рисунок 2.3.47 – Вакуумный захват с эжектирующим устройством (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

Помимо типовых конструкций эжекторов производители элементов промышленной пневмоавтоматики выпускают эжекторные головки с принудительным отталкиванием детали от присоски с помощью сжатого воздуха после завершения операции захвата, а также компактные эжекторы с электромагнитным управлением процессом захвата и отталкивания заготовки.

Рабочие характеристики пневмоцилиндра

Для подбора пневматических цилиндров, а также других элементов пневмосистемы необходимо определять, как теоретический размер цилиндра, так и потребляемый им объем (расход) воздуха. Ниже представлены примеры определения данных характеристик.

Пример 1: Требуется определить теоретический размер цилиндра, работающего при давлении 6 бар, который должен создавать зажимное усилие в 1600 Н.

Усилие на поршне при выдвигании:

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p$$

где D – диаметр поршня; p – давление.

После преобразования получаем: $D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1600}{\pi \cdot 600000}} = 0,0583 \text{ м} = 58,3 \text{ мм}$

Для данных условий должен быть выбран ближайший больший стандартный диаметр (из ряда 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 140, 160, 200, 250, 320) диаметр 63 мм.

Пример 2: Цилиндр с диаметром 63 мм и ходом поршня 500 мм работает при давлении 6 бар. Каково потребление воздуха при 15 циклах (30 ходах) в минуту?

1,4 – эмпирический коэффициент (зависит от степени приближения процесса к изотермическому или адиабатическому).

$$Q_{\text{ци}} = 1,4 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot n \cdot \frac{(p+1,013)}{1,013} \cdot 10^{-6} =$$

$$= 1,4 \cdot \frac{\pi \cdot 63^2}{4} \cdot 500 \cdot 30 \cdot \frac{(6+1,013)}{1,013} \cdot 10^{-6} = 453,2 \text{ нл/мин}$$

Пример 3: Пневмоцилиндр двустороннего действия диаметром 80 мм и ходом поршня 300 мм должен совершить полный ход поршня за 1 секунду. Давление подаваемого воздуха равно 7 бар. Чему равен расход воздуха в цилиндре?

Объем цилиндра

$$V = \pi D^2 / 4 \times \text{ХОД} = 3,14 \times 80^2 / 4 \times 300 = 1508160 \text{ мм}^3 = 1,51 \text{ литра.}$$

Для подсчета объема атмосферного воздуха при давлении 7 бар применяем закон Бойля-Мариотта: $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$

$$p_1 = (7+1) \text{ бар (абс.); } V_1 = 1,51 \text{ л; } p_2 = 1 \text{ бар (абс.).}$$

$$\text{Преобразуем: } V_2 = p_1 \cdot V_1 / p_2 \quad V_2 = (7+1) \cdot 1,51 / 1$$

$$V_2 = 12,08 \text{ нормальных литров.}$$

Таким образом, расход воздуха в цилиндре: 12,08 норм.л/с или 724,8 норм.л/мин.

Управление работой пневмоцилиндров может осуществляться многими способами, имеющими свои особенности. На рис. 2.3.48 представлена одинаковая функция движения штока пневматического цилиндра в прямом направлении и осуществления обратного хода при переключении основного распределителя. Однако имеются и некоторые различия: переключение распределителя на левой схеме (рис. 2.3.48а) осуществляется посредством кнопки, а на правой – педалью; также на левой схеме обратный ход осуществляется за счет пружины, а на правой при помощи подачи в штоковую полость воздуха, что позволяет осуществлять обратный ход

под существенной нагрузкой в отличие от пружинного возврата. Кроме указанных особенностей на схемах рис. 2.3.48 некоторые элементы имеют отличные условные графические обозначения, что никак не меняет принципа их действия.

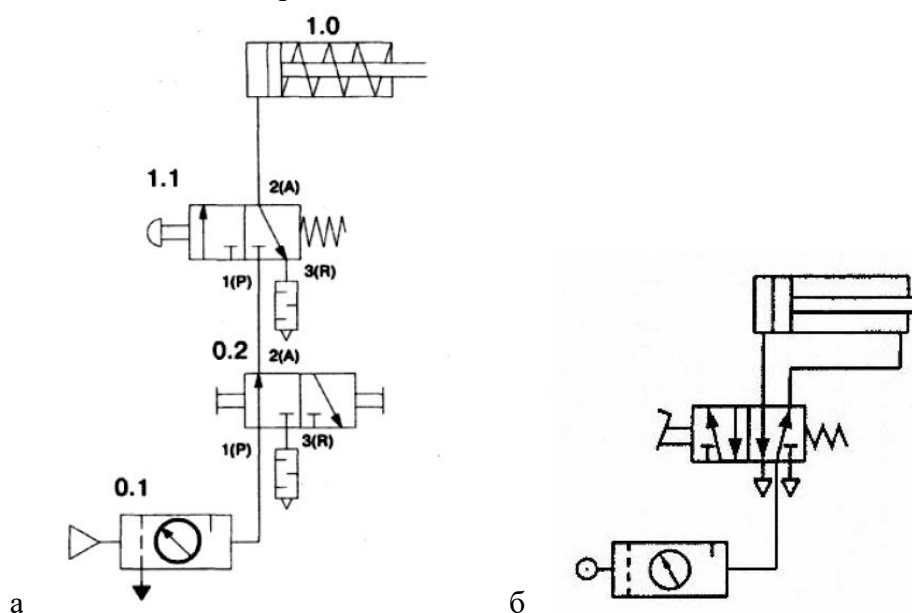


Рисунок 2.3.48 – Схемы управления пневмоцилиндрами


Многообразная распределительная аппаратура применяемая для управления приводами рассмотрена далее.

Тема 2.4 Распределительная аппаратура

Пневматические распределители (пневмораспределители) предназначены для управления направлением движения потоков сжатого воздуха. Управление осуществляется путем изменения (при переключении) схемы соединения внутренних каналов распределителя. В табл. 2.4.1 представлены условные графические обозначения пневмораспределителей.

Таблица 2.4.1 – Условные графические обозначения пневмораспределителей

Условное графическое изображение	Тип пневмораспределителя	Условное графическое изображение	Тип пневмораспределителя
	2/2 Нормально закрытый		3/3 в среднем положении закрыт
	2/2 Нормально открытый		4/3 в среднем положении закрыт
	3/2 Нормально закрытый		4/3 в среднем положении разгружен
	3/2 Нормально открытый		5/3 в среднем положении закрыт
	4/2		5/3 в среднем положении разгружен

	5/2		5/3 в среднем положении под давлением
---	-----	--	---------------------------------------

Функциональные возможности распределителей характеризуются рядом параметров: количество рабочих каналов, количество позиций переключения, нормальная позиция, способ управления (табл. 2.4.2) и пропускная способность.

Таблица 2.4.2 – Условные графические изображения различных видов управления распределителями

Условное изображение	Вид управления	Изображение
	Ручное управление обобщенный символ (поворотный переключатель, рукоятка, тяга, тумблер и т.д.)	
	Нажимная кнопка (грибовидная, выступающая, утопленная)	
	Механический толкатель (прямой толкатель, роликовый толкатель)	
	Роликовый рычаг	
	Односторонний (ломающийся) роликовый рычаг	
	Педадь	
	Рычаг	
	Электромагнит с одной обмоткой, непрямоe электромагнитное управление	
	Управление посредством сжатого воздуха	
	Возвратная пружина	
	Фиксатор	

Управляющие пневмолинии показаны на рис 2.4.1.

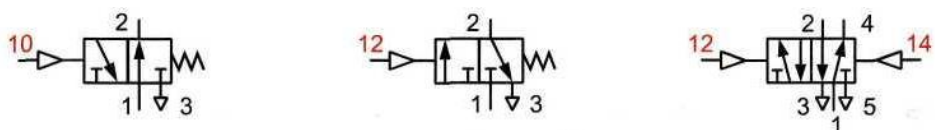


Рисунок 2.4.1 – Обозначение рабочих и управляющих пневмолиний

Первая цифра в подобном двузначном обозначении совпадает с индексом линии питания, а вторая – с индексом линии потребителя, в которую будет поступать сжатый воздух после подачи управляющего сигнала. Индекс 10 (рис. 2.4.1а) обозначает, что в случае поступления в эту линию сигнала управления подача сжатого воздуха потребителю прекратится (обнулится).

В зависимости от способа воздействия запорно-регулирующего элемента (ЗРЭ) на поток сжатого воздуха практически все устройства, входящие в направляющую и регулирующую подсистему пневмоприводов, подразделяются на два больших класса: аппаратуру клапанного типа и золотникового типа (рис. 2.4.2).

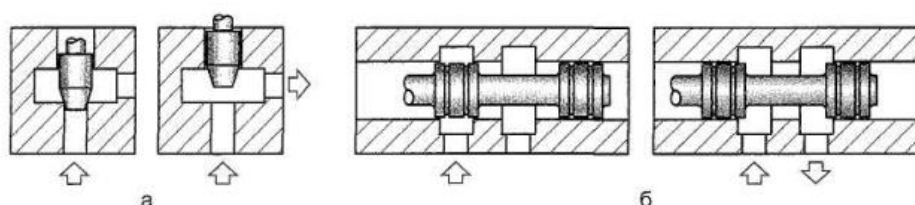


Рисунок 2.4.2 – Принцип действия запорно-регулирующего элемента: а) клапанного типа; б) золотникового типа

От типа конструктивного исполнения аппарата (клапанный или золотниковый) зависят характеристики процесса его переключения (усилие, длина хода ЗРЭ), степень герметичности, уровень требований к чистоте рабочей среды и необходимость смазки.

В аппаратуре клапанного типа запорно-регулирующий элемент перемещается вдоль осевой линии потока. Достоинства такого конструктивного решения очевидны: обеспечение полной герметичности при отсечении одной пневмолинии от другой, пониженная чувствительность к воздействию загрязнителей, возможность работы без смазки, а также высокое быстродействие (незначительное перемещение ЗРЭ приводит к существенному изменению площади проходного сечения).

К недостаткам аппаратуры клапанного типа можно отнести следующее: требуется приложение значительных усилий для перемещения ЗРЭ, что связано с необходимостью преодоления сил, возникающих от давления сжатого воздуха на последний, или сил сопротивления пружин, прижимающих ЗРЭ к седлу клапана.

Иногда такую аппаратуру называют аппаратурой седельного типа.

В аппаратуре золотникового типа ЗРЭ перемещается перпендикулярно осевой линии потока.

В подобных аппаратах усилие, обусловленное давлением сжатого воздуха на ЗРЭ, не приводит к какому-либо его смещению т.к. силы давления на торцы золотника уравновешены (золотник гидравлически разгружен). Для перемещения ЗРЭ необходимо преодолеть только силы трения между ним и корпусом, что, безусловно, является неоспоримым достоинством такого конструктивного решения. При этом можно выделить следующие его недостатки: 1) для полного открытия рабочего канала золотник необходимо переместить как минимум на величину диаметра канала (на что требуется затратить определенное время); 2) гарантированный зазор между золотником и расточкой корпуса является «узким» местом, если учитывать возможность засорения зазора и заклинивания ЗРЭ.

Моностабильные пневмораспределители

Пневмораспределители, которые переключаются в нормальную позицию посредством возвратных пружин, называют моностабильными (рис. 2.4.3).

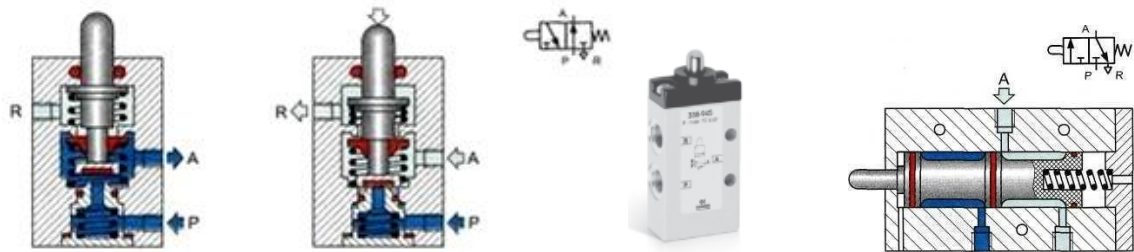


Рисунок 2.4.3 – Моностабильные распределители

Примеры моностабильных распределителей показаны на рис. 2.4.4.

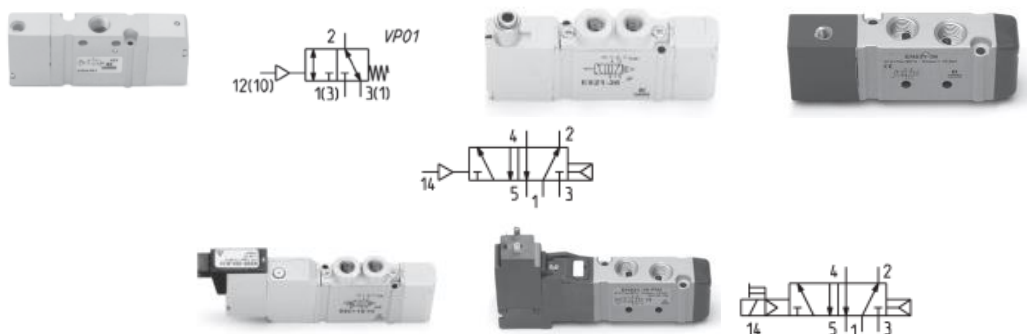


Рисунок 2.4.4 – Примеры моностабильных распределителей

Бистабильные пневмораспределители (с фиксацией положения)

Двухпозиционные пневмораспределители, которые после снятия управляющего внешнего воздействия остаются в позиции, определяемой этим воздействием, называют бистабильными (с памятью позиции последнего переключения). Возврат их в исходную позицию осуществляется после подачи противоположного по значению управляющего сигнала (рис. 2.4.5).

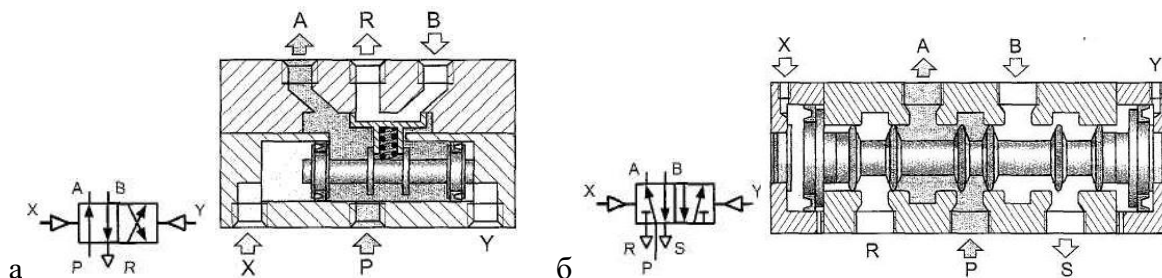


Рисунок 2.4.5 – Бистабильные 4/2- и 5/2-пневмо-распределители с пневматическим управлением

Бистабильный пневмораспределитель 3/2 с пневматическим управлением показан на рис. 2.4.6.

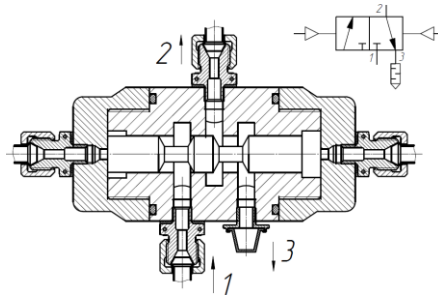


Рисунок 2.4.6 – Пневмораспределитель 3/2 с пневматическим управлением

Бистабильный пневмораспределитель 5/2 с управлением от электромагнитов показан на рис. 2.4.7.

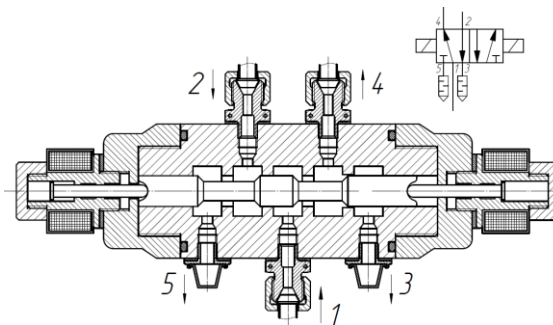


Рисунок 2.4.7 – Пневмораспределитель 5/2 с управлением от электромагнитов

Данный распределитель имеет 1 входной канал, 2 рабочих канала и два канала на выхлоп. Смещение золотника в корпусе распределителя происходит при помощи толкателей. По торцам распределителя установлены электромагниты. При подаче электрического тока на соответствующий электромагнит происходит выдвигание толкателя из корпуса магнита. В свою очередь, толкатель приводит в движение золотник распределителя, тем самым переключая его позицию. Данный тип распределителей так же называют «бистабильными», поскольку без подачи управляющего сигнала с противоположной стороны, золотник распределителя остаётся в том же положении в котором и был, а не возвращается в исходное положение. В одной из двух возможных позиций данного распределителя соединяются канал 1 с каналом 2, канал 4 с каналом 3, а канал 5 запирается; во второй позиции соединяются каналы 1 и 4, канал 2 с каналом 5, а канал 3 запирается. В каналах выхлопа также установлены глушители.

Примеры бистабильных распределителей показаны на рис. 2.4.8.



Рисунок 2.4.8 – Примеры бистабильных распределителей

У бистабильных распределителей с пневматическим управлением, входящих в состав пневмопривода, исходная позиция определяется не особенностями конструкции, а связями с элементами, управляющими этими аппаратами.

Пневматическое управление распределителями используют в тех случаях, когда необходимо осуществлять дистанционное управление их работой. Чтобы распределитель был с пневматическим управлением, в конструкцию вводят поршень 1, перемещение которого и приводит в движение запорный элемент 2 (рис. 2.4.9).

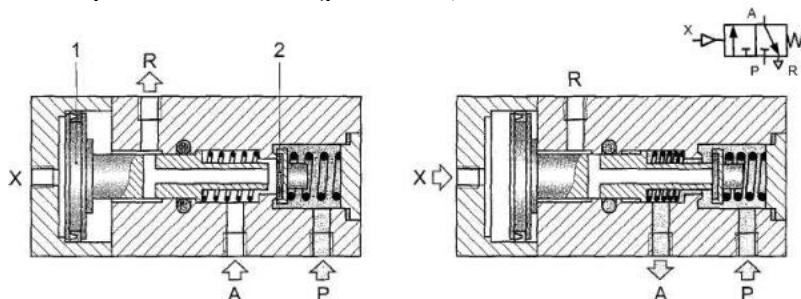
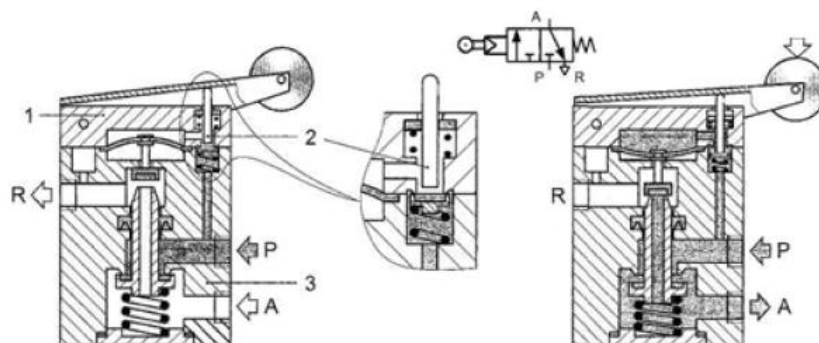


Рисунок 2.4.9 – Нормально закрытый 3/2-пневмораспределитель с пневматическим управлением (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

В тех случаях, когда имеются технологические ограничения на величину управляющих сигналов, применяют распределители с пневматическим усилением управляющего сигнала (пилотным управлением) (рис. 2.4.10).



1 – управляющая головка с роликом; 2 – вспомогательный (пилотный) распределитель; 3 – основной пневмораспределитель

Рисунок 2.4.10 – 3/2-пневмораспределитель с пневматическим усилением управляющего сигнала (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

Использование нормально открытых и нормально закрытых пневмораспределителей показано на рис. 2.4.11).

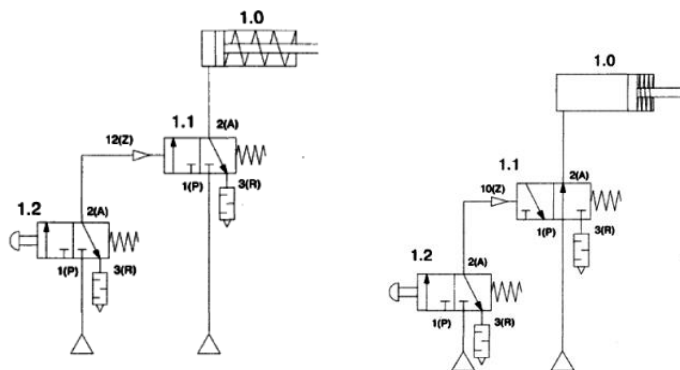
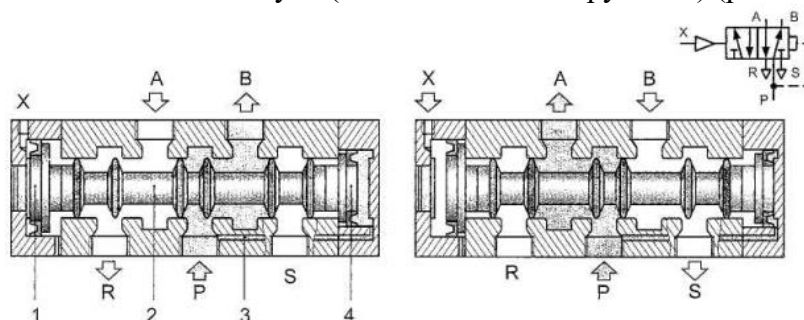


Рисунок 2.4.11 – Использование нормально открытых и нормально закрытых пневмораспределителей

В моностабильных пневмораспределителях возврат запорно-регулирующего элемента в исходное положение может осуществляться не только посредством механических пружин, но и под действием давления сжатого воздуха (пневматической пружины) (рис. 2.4.12).



1 – левый поршень; 2 – золотник; 3 – канал; 4 – правый поршень

Рисунок 2.4.12 – 5/2-невмораспределитель с пневматическим управлением и возвратом (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

Для пояснения сказанного рассмотрим, например, две схемы управления воротами с пневматическим приводом (рис. 2.4.13).

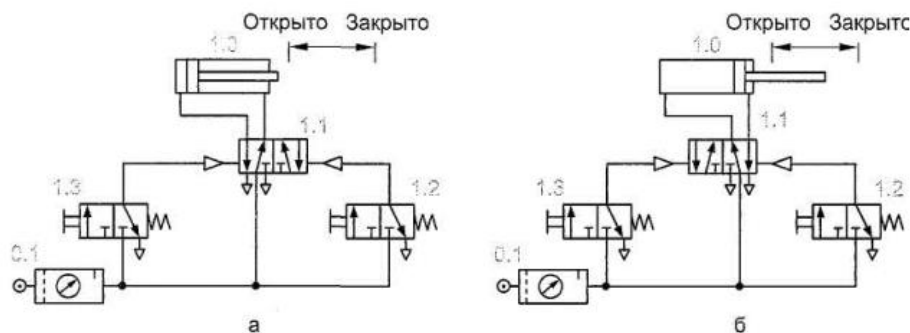


Рисунок 2.4.13 – Использование бистабильного 5/2-невмораспределителя для управления пневмоцилиндром с двумя вариантами исходной позиции пневмораспределителя: с втянутым (а) и с выдвинутым (б) штоком

Очевидно, что после кратковременного нажатия на пневмокнопку 1.2 схема рис. 2.4.13а трансформируется в схему рис. 2.4.13б, а схема рис. 2.4.13б после кратковременного воздействия на кнопку 1.3 – в схему рис. 2.4.13а.

Определение параметров пневмораспределителей

Выбор пневмораспределителя заключается в подборе типоразмера, удовлетворяющего требуемым параметрам: схеме коммутаций потоков, виду управления, способу монтажа, габаритным размерам, пропускной способности (расходные характеристики) и т.п. Чтобы упростить процедуру подбора пневмораспределителя, производители пневматического оборудования приводят в технической документации данные по их пропускной способности.

Условный проход характеризует внутреннее проходное сечение пневматического устройства. В пневмоприводах наиболее широко применяют устройства с условными проходами 2,5–40 мм. При этом числовой ряд следующий, мм: 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40. Для базовых моделей, как правило, условный проход выбирают из ограниченного ряда, мм: 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40.

Условный проход – параметр, удобный для выбора размера пневмоаппаратов различного функционального назначения из имеющихся размерных рядов. Для пневмоаппаратуры многих зарубежных фирм основным размерным параметром является размер присоединительной

резьбы. Отметим, что условный проход и размер присоединительной резьбы – понятия неоднозначные: при одинаковой присоединительной резьбе аппараты могут иметь разные условные проходы.

Условный проход аппарата неоднозначно определяет его расходную характеристику, которая в зависимости от вида и величины местных внутренних сопротивлений может быть различной при одинаковых условных проходах.

В настоящее время применяют три способа задания расходных характеристик.

1. Расходная характеристика выражается величиной объемного расхода Q_n [л/мин], при технических нормальных условиях ($t_n = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $p_n = 101,3\text{ кПа}$).

2. Расходная характеристика задается параметром, характеризующим сопротивление распределителя. В качестве такого параметра применяют пропускную способность K_v , представляющую собой расход [м³/ч] воды, пропускаемой распределителем (или другим устройством) при перепаде давления на нем 1 кгс/см². За рубежом применяют также параметр пропускной способности C_v , представляющий собой расход воды в американских или английских галлонах за одну минуту при перепаде давления в 1 psi (фунт-сила на квадратный дюйм).

Схема установки для определения пропускной способности пневмораспределителей представлена на рис. 2.4.14.



Рисунок 2.4.14 – Схема установки для определения пропускной способности пневмораспределителей

3. Расходная характеристика представляется в виде графика, отражающего зависимость объемного расхода воздуха (при нормальных технических условиях) через пневмораспределитель от перепада давления на нем при определенном давлении на входе, или серией графиков для различных давлений на входе.

Для выбора распределителя по требуемому расходу воздуха, в каталоге приведены графики расхода для различных серий распределителей. Используя эти графики можно определить, какое падение давления будет на том или ином распределителе при заданном расходе. К примеру, если при входном давлении 6 бар расход воздуха через распределитель с присоединительной резьбой G1/2" будет составлять 3000 литров в минуту, то давление на выходе распределителя будет 3,8 бар (рис. 2.4.15).

Падение давления составит 2,2 бара. Рекомендуемое падение давления на распределителе определяется требованиями системы, в которой работает распределитель. Чем меньше падение давления на распределителе, тем выше быстродействие всей пневматической системы.

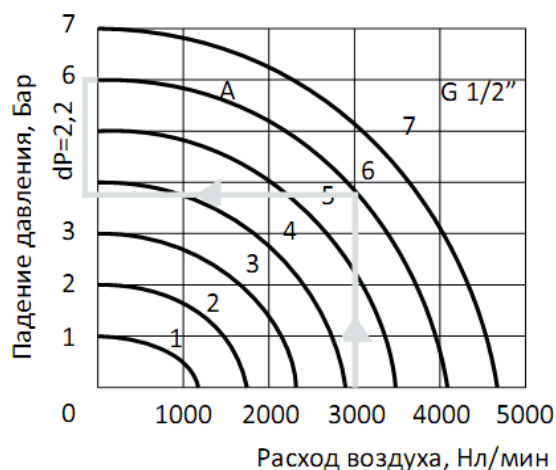


Рисунок 2.4.15 – Расходная характеристика распределителя

Схема с управлением прямым и обратным движением пневмоцилиндра по сигналу от нажатой кнопки показана на рис. 2.4.16.

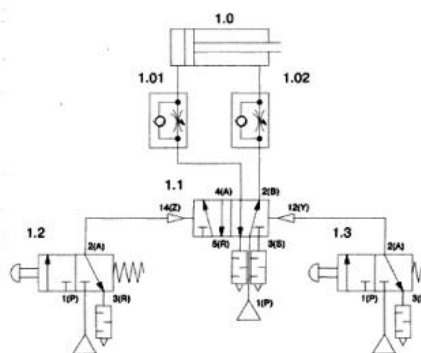


Рисунок 2.4.16 – Схема с управлением прямым и обратным движением пневмоцилиндра по сигналу от нажатой кнопки

Задача: Цилиндр двустороннего действия должен выталкивать детали из накопителя. Шток цилиндра должен полностью выдвигаться при нажатии на кнопку и втягиваться после достижения крайнего положения. Сигнал о приходе штока в крайнее положение должен поступать от концевого выключателя с управлением от рычага с роликом. Шток цилиндра должен продолжать двигаться вперед, даже если кнопка будет отпущена еще до того, как он полностью выдвинется. Скорость поршня цилиндра должна регулироваться в обоих направлениях. Принципиальная схема управления пневмоцилиндром с автоматическим возвратом представлена на рис. 2.4.17.

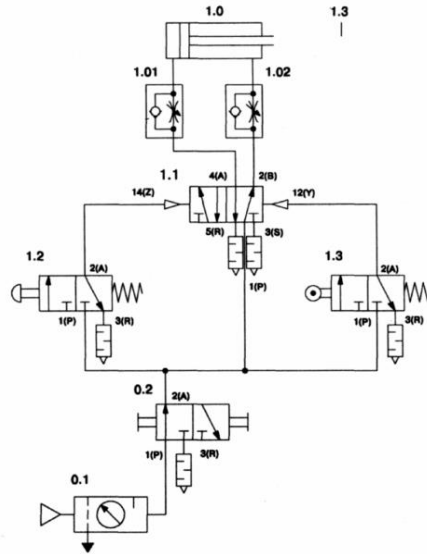


Рисунок 2.4.17 – Принципиальная схема управления пневмоцилиндром с автоматическим возвратом

Когда шток достигнет своей конечной позиции, то включится концевой выключатель 1.3. Если кнопка 1.2 остается при этом включенной, то переключение распределителя 1.1 невозможно. Шток остается в выдвинутом положении. Втягивание штока возможно только в том случае, если кнопка 1.2 выключится, и при этом снимется давление в управляющем канале 14(Z).

Порядок подбора: 1) Перевести расход при указанном давлении в исходных данных в расход при нормальных условиях; 2) при наличии в таблицах, приведенных ниже, расхода выбрать ближайший больший по расходу; 3) при наличии в таблицах параметров C_v или K_v предварительно вычислить их по формулам приведенным ниже и выбрать из таблиц ближайший больший.

$$Q = 400 \cdot C_v \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot \Delta p}$$

$$Q = 27,94 \cdot k_v \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot \Delta p}$$

$$Q = 22,2 \cdot S \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot \Delta p}$$

Величина C_v равна 1, если расход воздуха равен 981,5 норм.л/мин.

Выборка информации по распределителям из каталогов некоторых производителей

Распределители фирмы AGNEP (табл. 2.4.3)

Таблица 2.4.3 – Характеристики пневмораспределителей AGNEP

Параметр	Размер распределителя		
	02	03	05
Резьбовое присоединение в дюймах	1/8	1/4	1/2

Расход при 6 бар при $\Delta p = 1$ бар, нл/мин	740	1200	5000
---	-----	------	------

Пример записи шифра распределителя 01VP03NC02

где **01V** серия, **P** – пневматический привод, **0** – пружинный возврат (**1** – бистабильный), **3** – схема распределителя 3/2 (**5** – 5/2, **7** – 5/3), **NC** – функция – нормально закрытый (**NO** – нормально открытый, **OC** – нормально разгружен, **PC** – нормально под давлением), **02** – размер распределителя с резьбовым присоединением 1/8 дюйма.

Распределители фирмы ПГС (табл. 2.4.4)

Таблица 2.4.4 – Характеристики пневмораспределителей ПГС

Модель (новое наименование)	P_{max} , бар	Эффективная площадь сечения, мм ²	C_v	Присоединение
3A110-L-06	12	12	0,64	G1/8 ^{//}
3A210-L-06	12	14	0,78	G1/8 ^{//}
3A210-L-08	12	16	0,89	G1/4 ^{//}
3A310-L-08	12	25	1,4	G1/4 ^{//}
3A310-L-10	12	30	1,68	G3/8 ^{//}
3A410-L-15	12	50	2,79	G1/2 ^{//}

Распределители фирмы PNEUMAX (табл. 2.4.5)

Таблица 2.4.5 – Характеристики пневмораспределителей PNEUMAX

Серия	Масса распределителя, кг	Расход при $P_1=6$ бар при $\Delta P=1$ бар, нл/мин	Условный проход, мм	Присоединение
104 и 105	0,025 и 0,09; 0,1	120	2,5	Ø4, M5
228	0,11; 0,13	540	6	G1/8 ^{//}
214/2	0,31; 0,37	1030	7	G1/4 ^{//}
224	0,37; 0,45	1360	8	G1/4 ^{//}
212	1,11; 1,39	3500	15	G1/2 ^{//}
211	3,3; 4,2	6500	20	G1 ^{//}

В таблице представлены серии для индивидуального монтажа.

Характеристика распределителя серии 211 представлена на рис. 2.4.18.

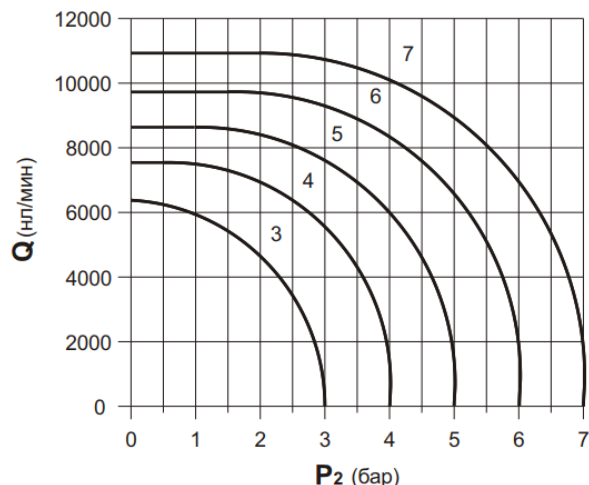


Рисунок 2.4.18 – Характеристика распределителя серии 211 с исполнениями 3/2, 5/2, 5/3 и присоединением G1"

Распределители фирмы SMC (табл. 2.4.6)

Таблица 2.4.6 – Характеристики пневмораспределителей SMC

Модель распределителя	Масса распределителя, кг	Расход в линиях P→A/B при P ₁ =6 бар при ΔP=1 бар, нл/мин	Расход в линиях A/B →EA/EB при P ₁ =6 бар при ΔP=1 бар, нл/мин	Присоединение
VFA1120-M5	0,097	133	137	M5x0,8
VFA1120-01	0,093	184	133	(P A B) G1/8 ^{//} (EA EB) M5x0,8
VFA3120-01	0,135	805	712	G1/8 ^{//}
VFA3120-02	0,131	1058	798	(P A B) G1/4 ^{//} (EA EB) G1/8 ^{//}
VFA5120-02	0,294	2021	2282	G1/4 ^{//}
VFA5120-03	0,280	2466	2915	G3/8 ^{//}

В модели распределителя: первая цифра – серия (1000, 3000, 5000), вторая цифра – тип управления (1-одностороннее пневмоуправление), третья цифра – тип корпуса, цифра после дефиса – шифр размера порта присоединения для линий А, В. Кроме указанных цифр далее в шифре могут указывать дополнительные особенности конструкции.

Распределители фирмы ООО «Пневмоаппарат» (табл. 2.4.7)

Таблица 2.4.7 – Характеристики пневмораспределителей ПНЕВМОАППАРАТ

Наименование изделия	Присоединение, дюйм	Пропускная способность K _v , не менее м ³ /ч
3P-4-213-3 5P-4-213-3	G1/8"	0,75
3P-6-213-3 5P-6-213-3	G1/4" (G1/8" выхлопные)	1,04
3P-10-213-3 5P-10-213-3	G3/8" (G1/4" выхлопные)	1,95
3P-16-213-3	G1/2"	3,26

5P-16-213-3	
-------------	--

Распределители фирмы *Hafner-Pneumatik Kraemer MG* (табл. 2.4.8)

Таблица 2.4.8 – Характеристики пневмораспределителей *Hafner-Pneumatik Kraemer MG*

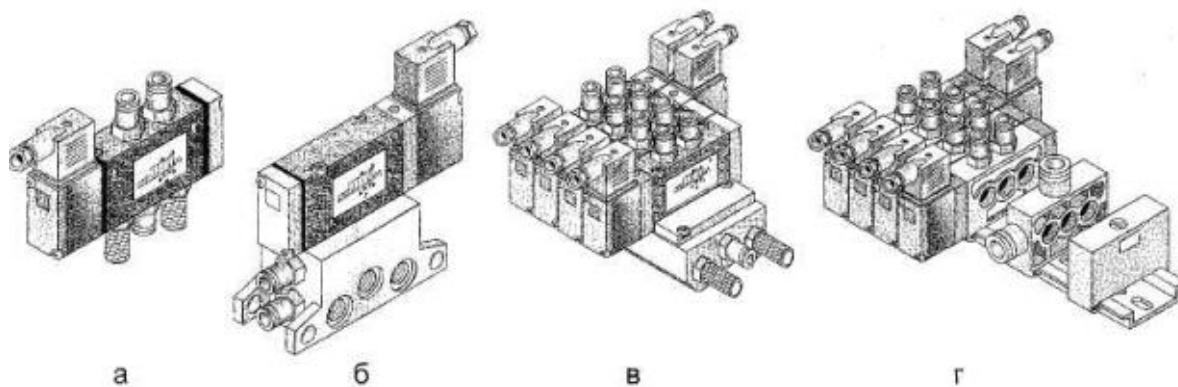
Модель	Размер порта	Расход воздуха, нл/ мин
P 311501; P 511501	G 1/8"	650
P 311701; P 511701	G 1/4"	1250
P 311801; P 511801	G 1/4"	1450
P 311101; P 511101	G 3/8"	2250
P 311121; P 511121	G 1/2"	3000
P 311121 NPT; P 511121 NPT	NPT 1/4"	3000
P 311181; P 511181	G 3/4"	6000

Монтаж пневмораспределителей

Способы монтажа пневматических распределителей обуславливаются их монтажно-коммуникационными параметрами, т. е. вариантами присоединения внешних пневмолиний, крепления отдельных аппаратов и их компоновки в единую систему.

Монтаж может быть индивидуальным и групповым. При индивидуальном монтаже каждый аппарат крепят и подсоединяют к системе без общих коммуникационных и монтажных деталей, трубопроводов или каналов в корпусных деталях машин, узлов, приспособлений и т. п.

Индивидуальный монтаж может быть резьбовым (трубным) или стыковым. При резьбовом монтаже (рис. 2.4.19а) пневмораспределители устанавливают на корпусных деталях машин и подключают к пневматической системе посредством соединений, ввинчиваемых непосредственно в резьбовые отверстия, которые предусмотрены в корпусе распределителя.



а) резьбовой; б) стыковой; в) блочный; г) модульный
Рисунок 2.4.19 – Способы монтажа пневмораспределителей

При стыковом монтаже (рис. 2.4.19б) пневмораспределители, все присоединительные отверстия которых расположены с одной стороны, устанавливают на специальные монтажные плиты, через которые осуществляются их коммутация с пневмосистемой и фиксация на технологической установке. Такой способ монтажа позволяет заменять распределители без демонтажа трубопроводов.



Рисунок 2.4.19 – Варианты исполнения пневмоостровов

Тема 2.5 Регулирующая и вспомогательная аппаратура, элементы пневмоавтоматики

Клапаны давления

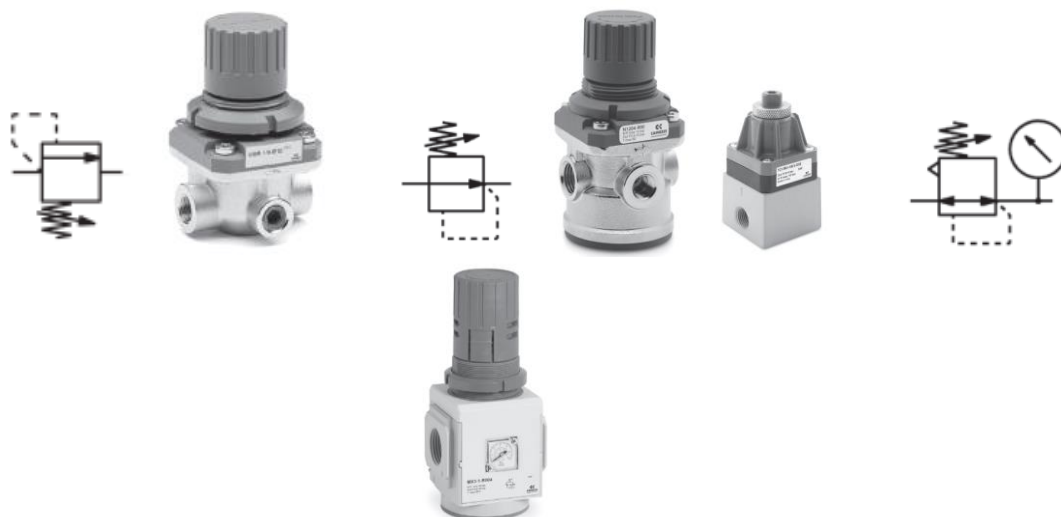
Клапаны давления – это пневматические элементы, предназначенные для поддержания давления. Различаются следующие три типа клапанов давления:

- регуляторы давления (или редукционные клапаны),
- предохранительные клапаны,
- клапаны последовательности (или реле давления).

Назначение предохранительных клапанов (рис. 2.5.1а) заключается в предотвращении повышения давления в контролируемых точках сверх заданного уровня путем автоматического сброса части сжатого воздуха в атмосферу. Предохранительные клапаны устанавливают на специальных патрубках, присоединительных трубопроводах или непосредственно на пневматических емкостях в местах, удобных для осмотра, монтажа и эксплуатации. При установке в пневматических системах клапаны настраивают на заданное давление и пломбируют.

Назначение редукционных пневмоклапанов (рис. 2.5.1б,в) – поддерживать относительно стабильный уровень давления на выходе (ниже величины давления питания) независимо от колебаний давления, имеющих место в системе подачи воздуха перед клапаном, а также при изменении расхода воздуха за клапаном. Редукционные клапаны монтируют, как правило, в конкретных точках производственных установок либо они входят в составе блоков подготовки воздуха.

Принципиальные отличия между двумя рассмотренными типами клапанов состоят в следующем: предохранительные клапаны контролируют давление «перед собой», а редукционные – «за собой»; предохранительные клапаны являются нормально закрытыми, тогда как редукционные – нормально открытыми (рис. 2.5.1).



а) предохранительный; б) редукционный двухлинейный; в) редукционный трехлинейный

Рисунок 2.5.1 – Пневмоклапаны давления

Запорные элементы

К запорным элементам в пневмоавтоматике относятся устройства, обеспечивающие полное перекрытие потока сжатого воздуха, – обратные клапаны, пневмозамки, вентили.

Обратные клапаны, которые при подаче управляющего сигнала на встроенный в их корпус приводной механизм могут быть принудительно открыты, называются пневмозамками (рис. 2.5.2).

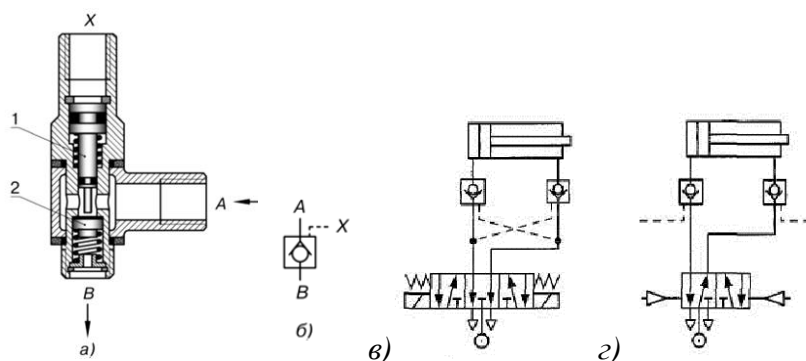
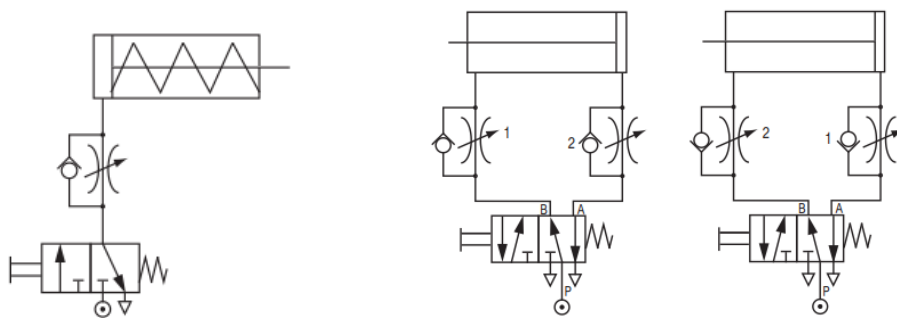
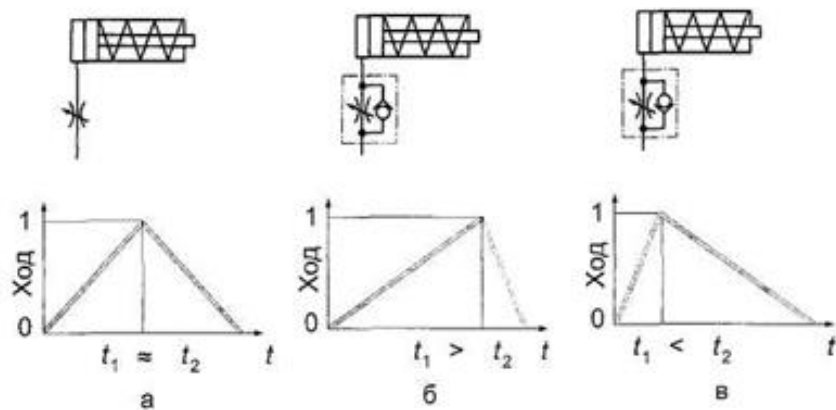


Рисунок 2.5.2 – Конструкция пневмозамка (а) и его условное графическое обозначение на схемах (б), примеры его применения (в, г)

Через пневмозамок воздух свободно проходит из канала А в канал В (рис. 2.5.2а), тогда как в обратном направлении – только при наличии сигнала в канале управления X. При этом во втором случае шток 1 миницилиндра, площадь поршня которого больше площади клапана 2, принудительно снимает клапан 2 с седла, тем самым обеспечивая возможность протекания воздуха из канала В в канал А.

Обычно пневмозамки применяют в системах позиционирования, т.е. для останова и удержания пневмоцилиндров в любом промежуточном положении, а также для предотвращения самопроизвольного опускания штоков вертикально установленных пневмоцилиндров.

Схемы управления пневмоцилиндрами с регулированием скорости представлены на рис. 2.5.3.



Дросселирование в напорной линии Дросселирование в линии выхлопа

Рисунок 2.5.3 – Схемы управления пневмоцилиндрами с регулированием скорости

Дросселирование в линии выхлопа

При таком способе регулирования скорости движения поршня воздух свободно проходит в полость цилиндра через обратные клапаны, а вытекает из полости через дроссели, создающие сопротивление протекающему воздуху. В данном случае поршень как бы находится между двумя пневматическими амортизаторами. Первый такой "амортизатор" формируется за счет сжатого воздуха, втекающего в одну из полостей под давлением, а второй - за счет ограничения расхода воздуха, вытекающего из другой полости в атмосферу. Этот способ дросселирования оказывается более предпочтительным, т.к. скорость поршня менее восприимчива к изменениям нагрузки по ходу движения, и поэтому он используется при управлении цилиндрами двустороннего действия. Для малых цилиндров из-за незначительного расхода воздуха применяется дросселирование и в напорной линии, и в линии выхлопа.

Клапаны быстрого выхлопа

Пневмоклапаны быстрого выхлопа предназначены для увеличения быстродействия пневматического привода путем уменьшения сопротивления выхлопной линии (рис. 2.5.4).

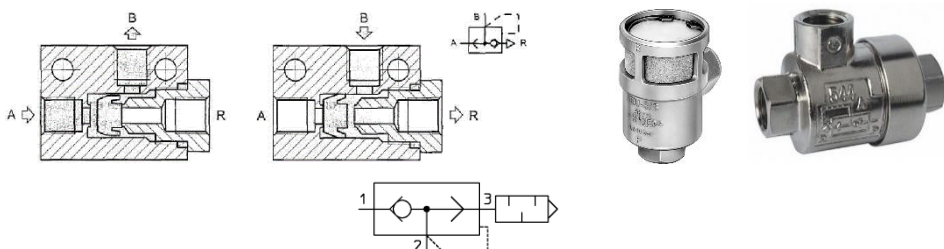


Рисунок 2.5.4 – Клапан быстрого выхлопа (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

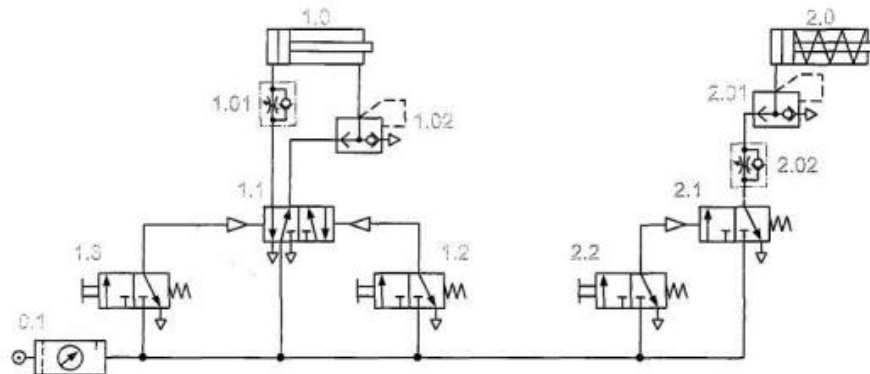
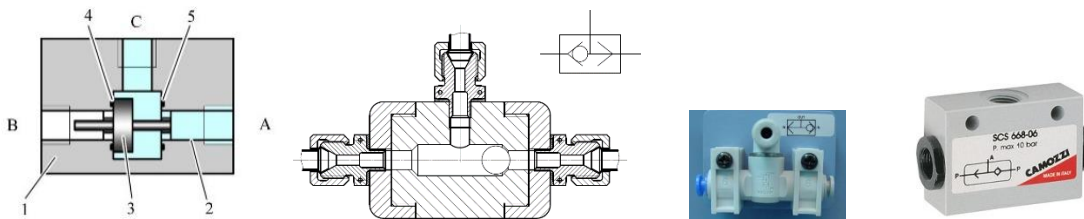


Рисунок 2.5.5 – Принципиальная пневматическая схема с клапанами быстрого выхлопа

Логические элементы

Элемент «ИЛИ»

Логический клапан "ИЛИ" (рис. 2.5.6) подает сигнал на выход, в случае наличия давления на входе А ИЛИ на входе В.



1 – корпус; 2 – канал; 3 – запорный элемент; 4, 5 – седла
Рисунок 2.5.6 – Элемент «ИЛИ»

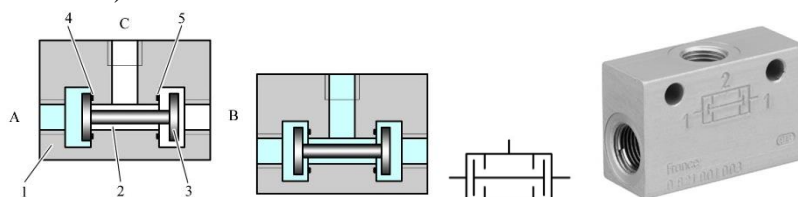
В корпусе 1 выполнен сквозной канал 2, в котором установлен подвижный запорный элемент 3. Прижимаясь к поверхностям (седлам) 4 или 5, запорный элемент перекрывает один из входов, и позволяет воздуху из противоположного канала поступать на выход клапана. В случае наличия давления на входе А запорный элемент прижмется к седлу 5, и перекроет канал В, воздух будет проступать на выход С.

Если давление будет присутствовать в двух каналах А и В, то под действием большего давления запорный элемент переместится и перекроет один из каналов. Сжатый воздух из канала с большим давлением поступит на выход С.

В случае равенства давления в обоих каналах запорный элемент останется в промежуточном положении, сжатый воздух будет поступать на выход из обоих каналов.

Элемент «И»

Элемент «И» подает сигнал на выход только при наличии воздуха под давлением на входе А и на входе В (рис. 2.5.7).



1 – корпус; 2 – канал; 3 – золотник; 4, 5 – седла
 Рисунок 2.5.7 – Элемент «И»

Клапан выдержки времени

Пневмоклапаны выдержки времени (рис. 2.5.8) предназначены для изменения направления или пуска и останова потока сжатого воздуха через заданный промежуток времени после подачи управляющего сигнала.

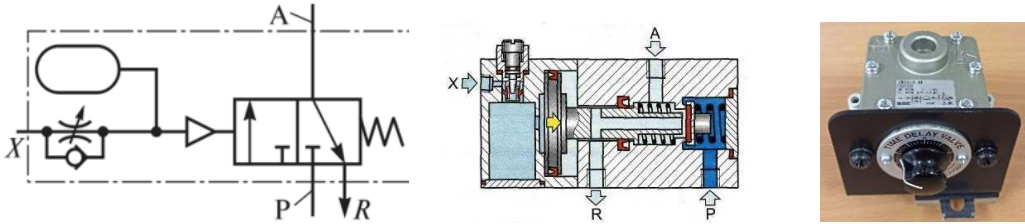


Рисунок 2.5.8 – Принцип действия, устройство и внешний вид клапана выдержки времени

Современные конструкции таких пневмоклапанов содержат инерционное звено, состоящее из пневматической емкости и дросселя, пневмоклапана последовательности и пневматического распределителя, встроенных с общий корпус.

Логическая функция "И"

Пример: Шток поршня цилиндра 1.0 должен выдвигаться только в том случае, если деталь установлена на станок, защитное ограждение опущено и оператором нажата кнопка распределителя (рис. 2.5.9). После отпускания кнопки распределителя шток цилиндра возвращается в исходное положение.

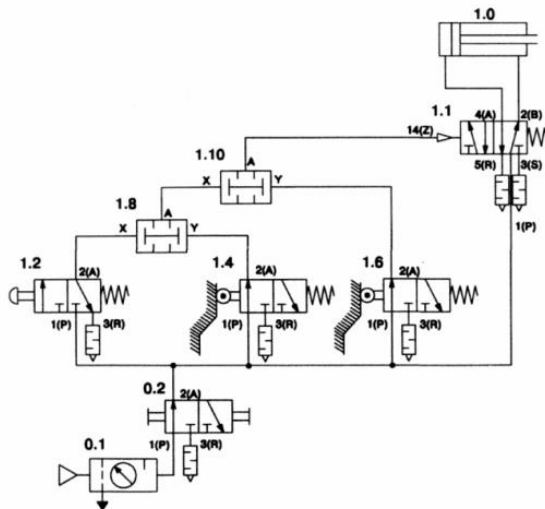


Рисунок 2.5.9 – Использование логической функции «И»

Логическая функция «И» выходных сигналов распределителей 1.2, 1.4 и 1.6 реализуется на выходе двух клапанов «И» 1.8 и 1.10.

Логическая функция «ИЛИ»

Пример: Для подачи деталей из накопителя используется цилиндр двустороннего действия. Шток поршня цилиндра выдвигается полностью при нажатии на кнопку или на ножную педаль. При достижении крайнего положения шток должен начать втягиваться (рис. 2.5.10).

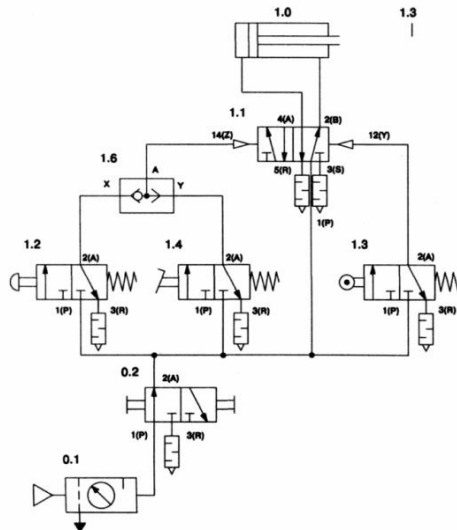


Рисунок 2.5.10 – Использование логической функции «ИЛИ»

Логическое условие «ИЛИ» выходных сигналов распределителей 1.2 и 1.4 реализуется с помощью перекидного клапана 1.6.

Когда шток цилиндра полностью выдвинется, то включится концевой выключатель 1.3. Тогда поступит сигнал в канал управления 12(Y) распределителя 1.1. Распределитель 1.1 переключится, и его шток втянется.

Аналогичная схема, но с управлением от двух кнопок представлена на рис. 2.5.11.

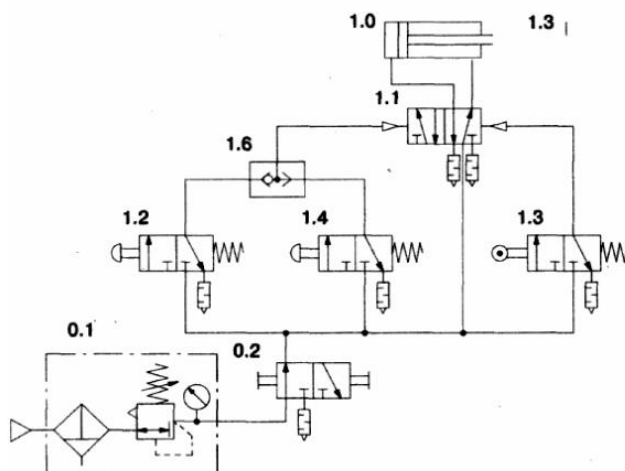


Рисунок 2.5.11 – Принципиальная схема пневматической системы управления

Клапан быстрого выхлопа

Пример: Инструмент приводится в движение штоком цилиндра двустороннего действия. Для повышения скорости выдвижения штока в схеме использован клапан быстрого выхлопа. Скорость втягивания штока поршня должна быть регулируемой. Если какая-либо из кнопок будет отпущена, шток цилиндра медленно возвратится в исходное положение.

В исходном положении лежащая деталь воздействует на распределитель с роликовым рычагом 1.4. Клапан быстрого выхлопа 1.02 изолирован от атмосферы, штоковая полость цилиндра находится под давлением, шток остается во втянутом положении.

Использование клапана быстрого выхлопа показано на рис. 2.5.12.

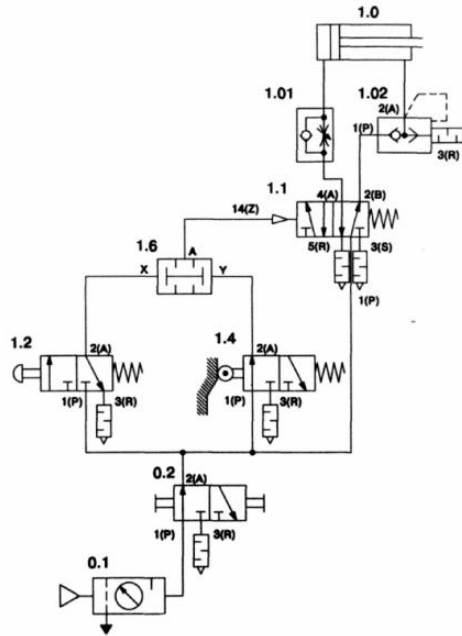


Рисунок 2.5.12 – Использование клапана быстрого выхлопа

При нажатии на кнопку 1.2 к обоим входам (X) и (Y) клапана двух давлений 1.6 поступят сигналы. Распределитель 1.1 переключается, в поршневую полость цилиндра 1.0 поступает воздух под давлением и шток выдвигается. При переключении распределителя 1.1 со входа 1(P) клапана быстрого выхлопа 1.02 снимается давление.

Клапан выдержки времени

Пример: Для прижимания склеиваемых деталей друг к другу используется цилиндр двустороннего действия. При нажатии на кнопку шток цилиндра выдвигается. Когда пресс прижмет деталь, он должен остаться в этом положении в течение 6 секунд, после чего шток должен автоматически вернуться в исходное положение. Начало нового цикла возможно только при условии полного втягивания штока и сохранении этого положения в течение 5 секунд. За это время склеенные детали вынимаются из пресса, а на их место устанавливаются новые. Использование клапана выдержки времени для реализации данной задачи представлено на рис. 2.5.13.

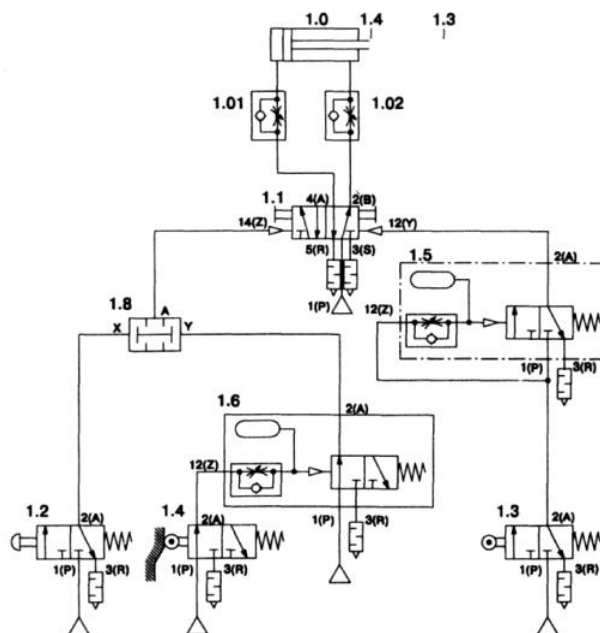


Рисунок 2.5.13 – Использование клапана выдержки времени

В исходном положении распределитель с роликовым рычагом 1.4, находящийся под воздействием штока, включен и переключен клапан выдержки времени 1.6, т.е. на его выходном канале 2(A) имеется сигнал. Условиями старта системы являются: распределитель с роликовым рычагом 1.4 включен; клапан выдержки времени 1.6 переключен; кнопка пуска 1.2 включена.

Кроме рассмотренных разновидностей пневмоклапанов распространены также пропорциональные пневмоклапаны, которые обеспечивают пропорциональное управление потоком сжатого воздуха в пневматической системе. В отличие от обычных бинарных (вкл/выкл) клапанов, пропорциональные клапаны позволяют плавно регулировать скорость, направление и силу действия пневматических устройств, таких как цилиндры и актуаторы.

Элементы мембранной пневмоавтоматики и пневмоники

С усложнением систем управления может использоваться пневмоавтоматика среднего давления – элементы мембранной техники. К ним относятся отечественные устройства УСЭША (рис. 2.5.14), ЯНТАРЬ и др. Эти устройства отличаются большей компактностью и большим быстродействием (однако в настоящее время они применяются редко и в ограниченных областях).



а – элемент сравнения типа П2ЭС.3; б – клапан двухконтактный типа КЛАНП
Рисунок 2.5.14 – Элементы УСЭША

Еще большим быстродействием и минимальными габаритами отличаются устройства низкого давления – устройства струйной техники или пневмоники, работающие при давлении до

0,02 МПа. Эти устройства принципиально отличаются от золотниковых и мембранных элементов тем, что в них нет механических подвижных частей. Подвижной частью их является струя газа. Работа их основана на взаимодействии потоков воздуха или жидкости. Поэтому срок службы элементов практически не ограничен. Элементы могут объединяться в единые платы, которые изготавливаются методом печатных схем (травлением, штамповкой, литьем). Струйные элементы обладают наиболее высоким быстродействием по сравнению с другими элементами пневмоавтоматики (1000 и более срабатываний в секунду). Они не подвержены радиационным воздействиям, не чувствительны к вибрациям, к колебаниям температур. К устройствам низкого давления относятся, например, элементы «Волга» (в настоящее время их следует признать устаревшими).

Как уже отмечалось ранее, если нет специальных требований к работе элементов в радиационной или взрывоопасной среде, управляющую часть пневматических систем удобно выполнять на основе электроники и использовать электропневматические схемы управления.

Тема 2.6 Измерительные приборы и инструмент

Для определения технического состояния пневмоустройств, а также ремонтных операций используют различные измерительные инструменты и приборы наиболее распространенными из которых являются инструменты для измерения размеров. На рисунке 2.6.1 представлены измерительные инструменты имеющие высокую точность определения размеров.

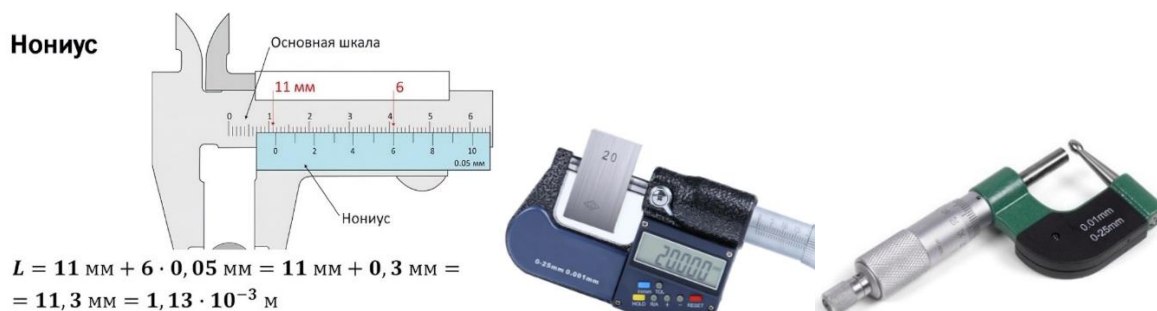


Рисунок 2.6.1 – Измерительные инструменты для измерения размеров (штангенциркуль и микрометры)

Нутромер (штїхмас) (от нем. Stichmaß) – измерительный прибор для измерения размеров пазов, отверстий и внутренних поверхностей изделий методами абсолютного или относительного измерения (рис. 2.6.2). Существующие типы нутромеров подразделяются по конструктивным особенностям, по типу контакта, отсчётной шкале и т. д. Чаще всего данные приборы подразделяются по методу измерений – абсолютному или относительному. Для абсолютных измерений применяются микрометрические типы, для относительных – индикаторные.



Рисунок 2.6.2 – Нутромер индикаторный и электронный рычажный

При соединении отдельных пневматических элементов и устройств используют различные виды резьб (рис. 2.6.3) основной из которых является трубная.

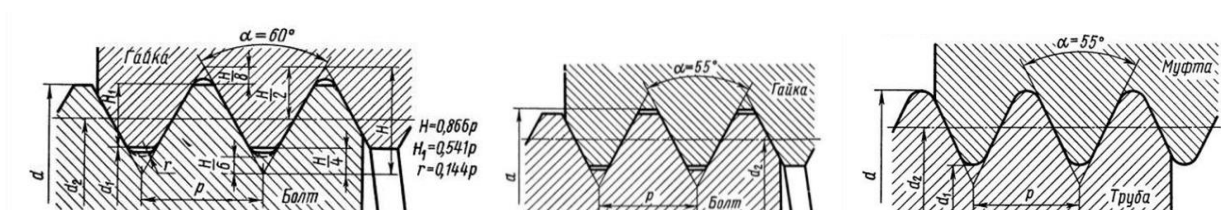


Рисунок 2.6.3 – Метрическая, дюймовая и трубная резьба

Характеристика трубной резьбы представлена в табл. 2.6.1.

Таблица 2.6.1 – Характеристика трубной резьбы

Номинальный диаметр резьбы, дюймы	Число ниток на 1" (25,4 мм)	Шаг P	Наружный диаметр резьбы d в основной плоскости	Длина резьбы		
				λ_1	λ_2	
1/16	28	0,907	7,723	6,5	4,0	
1/8			9,728			
1/4	19	1,337	13,157	9,7	6,0	
3/8			16,662			
1/2	14	1,814	20,955	13,2	8,2	
3/4			26,441			
1	11	2,309	33,249	15,8	10,4	
1 1/4			19,1			12,7
1 1/2						
2			56,614	23,4	15,9	
2 1/2			75,184	26,7	17,5	
3			87,884	29,8	20,6	
3 1/2			100,330	31,4	22,2	
4			113,030	35,8	25,4	
5			138,430	40,1	28,6	
6			163,830			

Метрическая резьба обозначается (ISO 724) буквой М (например, М5). Цилиндрическая трубная резьба обозначается (ISO 228/ГОСТ 6357-81) буквой G (например, G1/8"). Коническая трубная резьба обозначается (ISO 7-1/ГОСТ 6211-81) буквой R (например, R1/2 для внешней или RC1/2 для внутренней). Также применяется цилиндрическая резьба BSPP и коническая BSPT (BS21), например, 1/2" BSPP, а также коническая NPT по (ANSI/ASME).

Измерение диаметра резьбы штангенциркулем и шага резьбы резьбомером показано на рис. 2.6.4.

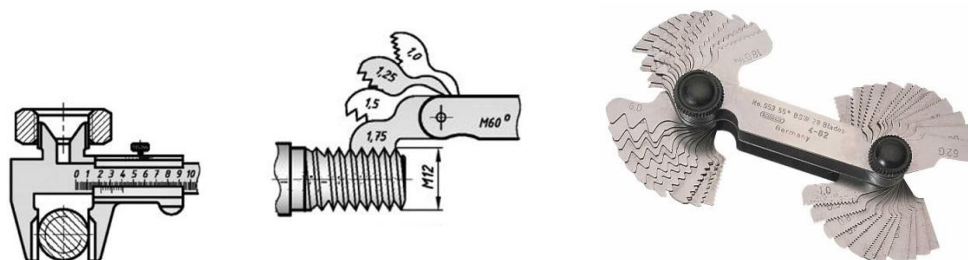


Рисунок 2.6.4 – Измерение диаметра резьбы штангенциркулем и шага резьбы резьбомером

Для контроля зазоров удобны в использовании наборы щупов (рис. 2.6.5).

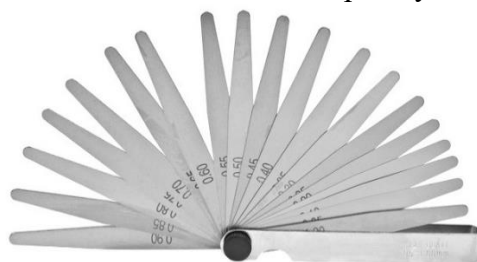


Рисунок 2.6.5 – Набор щупов 0,05-1 мм

Уровень рамный – средство измерения, предназначенное для определения отклонения от горизонтально и вертикально расположенных плоских и цилиндрических поверхностей. Технические особенности: рамный уровень имеет две горизонтально и две вертикально расположенные плоскости с двумя призматическими канавками для установки на цилиндр.

Из измерительных приборов наибольшее применение в пневматических системах имеют манометры. На рисунке 2.6.6 представлено изображение схемы манометра с трубкой Бурдона и манометра с цифровой индикацией.



Рисунок 2.6.6 – Манометры для измерения давления (а) и расходомер воздуха (б)

Манометр служит для быстрого считывания реального рабочего давления в измеряемом месте.

Обслуживание устройств очистки сжатого воздуха

Качество работы пневмоприводов напрямую зависит от чистоты сжатого воздуха. При эксплуатации пневмоприводов необходимо исключить возможность попадания загрязнителей воздуха к потребителю, что обеспечивается своевременным удалением их из резервуаров очистных устройств. В случаях использования устройств очистки сжатого воздуха с ручным управлением и непрозрачным резервуаром (визуальный контроль невозможен) образующийся конденсат следует сливать периодически – по графику, составленному на основе опытных или расчетных данных.

Если применяются автоматические устройства отвода конденсата, то процедуру его слива требуется организовать таким образом, чтобы избежать загрязнения окружающей среды. При отказе конденсатоотводчиков их необходимо демонтировать, прочистить рабочие каналы и сливные отверстия, промыть фильтрующие элементы и внутренние поверхности, высушить и

установить на прежнее место. Для промывки резервуаров можно использовать теплую мыльную воду.

В процессе эксплуатации фильтров поры их фильтроэлементов забиваются частицами загрязнителей, что приводит к возрастанию сопротивления потоку сжатого воздуха. Если перепад давления на фильтре превышает 0,1 МПа, то фильтроэлемент заменяют или восстанавливают его пропускную способность.

Обслуживание трубопроводов

Состояние воздухопровода контролируют путем вскрытия имеющихся на нем контрольных участков. При необходимости для очистки трубопровода применяют продувку сжатым воздухом и промывку водой либо химическую очистку.

Качество очистки проверяют визуально или на основании оценки чистоты потоков воздуха и воды, выходящих из трубы. Указанные методы используют при обслуживании металлических трубопроводов. При обслуживании эластичных пластмассовых трубопроводов, а также шлангов убеждаются в отсутствии перегибов и нарушений их целостности, а также в том, что трубопроводы, соединенные с подвижными частями машин, не касаются неподвижных деталей последних. При нарушении работоспособности эластичные трубопроводы заменяют.

Обслуживание пневмоаппаратуры и исполнительных механизмов

Техническое обслуживание пневмоаппаратуры и пневмодвигателей сводится в основном к надлежащему обеспечению процесса подготовки сжатого воздуха и контролю работы данных устройств. В распределительной аппаратуре проверяют четкость переключения, убеждаются в отсутствии заеданий при ручном и механическом управлении, в герметичности соединений трубопроводов и стыков, в плотности крепления крышек.

Герметичность соединений трубопроводов и эффективность работы уплотнительных элементов контролируют путем осмотра и прослушивания или с помощью средств обнаружения утечек. При необходимости подтягивают или заменяют соединения, уплотнения, трубопроводы. Следует учитывать, что нарушение герметичности не только приводит к непроизводительному увеличению расхода сжатого воздуха, но может также повлечь за собой нарушение работоспособности пневматических устройств и привода в целом.

В настраиваемых и регулируемых элементах контролируют соответствие параметров требуемым значениям, а также состояние стопорящих устройств. В пневматических двигателях проверяют также значение скорости перемещения выходного звена и величину развиваемого усилия.

Организация технического обслуживания

Организация технического обслуживания пневматического оборудования является одним из решающих факторов повышения надежности его работы. Рекомендуется следующий порядок проведения ежедневных и плановых осмотров пневмооборудования.

Ежедневные осмотры. Ежедневные осмотры проводят в начале смены – в течение первых десяти минут работы оборудования и в конце смены – во время уборки оборудования. Фактически ежедневные осмотры сводятся к визуальному контролю состояния пневмооборудования и направлены на:

- выявление явных изменений (например, количества конденсата в фильтре-влагоотделителе, количества масла в маслораспылителе и др.);
- выявление очевидных признаков состояния системы или ее частей (например, последовательности отработки цикла, скоростей движения выходных звеньев исполнительных механизмов и др., определяемых по индикаторам или иным контрольным приборам);
- выявление признаков, качественно характеризующих работу оборудования (например, уровня шума от выхлопов отработавшего воздуха или ударов и др.).

Периодические осмотры. Периодические осмотры проводят с интервалом в 3, 6 или 12 месяцев в зависимости от типа пневматического оборудования, характера работы отдельных его элементов и условий эксплуатации.

Ниже дан примерный перечень операций при проведении периодического осмотра:

- 1) проверка функционирования пневмодвигателей и других устройств;
- 2) проверка на наличие утечек;
- 3) проверка пневмоустройств с электрическим управлением на исправность электропроводки;
- 4) определение степени загрязненности фильтров;
- 5) проверка надежности резьбовых соединений.

На основе информации о результатах ежедневных и периодических осмотров, о величине коэффициента загрузки оборудования за сутки, месяц, а также учитывая другие данные, соответствующие службы проводят анализ причин простоев оборудования и планируют мероприятия по их уменьшению.

При эксплуатации пневматического привода, как и любой другой технической системы, наступает момент, когда процесс его нормального функционирования нарушается, что проявляется в различного рода отказах, как внезапных, так и постепенных.

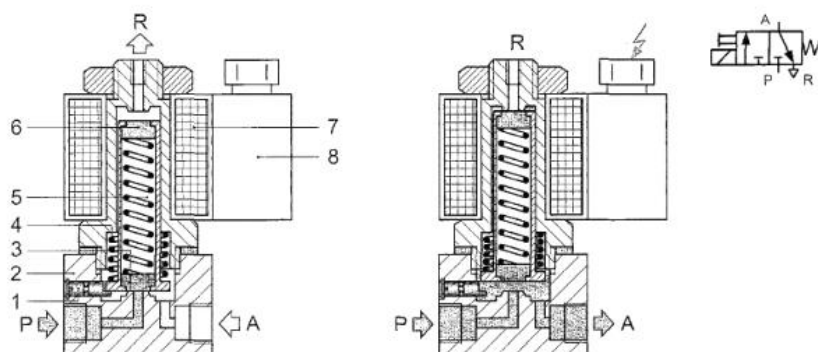
Время на поиск неисправности существенно сокращается, если используются методы технической диагностики, позволяющие локализовать место ее наличия, а также в том случае, если в приводе применяются пневматические элементы, снабженные различными индикаторами и дублирующими устройствами.

К устройствам индикации относят штырьковые индикаторы давления и положения ЗРЭ распределителей, светодиоды на электромагнитных приводах распределителей и т.п.; к дублирующим – устройства ручного включения пневмо- и электропневматических распределителей, тактовых модулей и др.

Тема 2.7 Электропневматические схемы. Примеры реализации пневмосхем

Электропневматические схемы

Независимо от элементной базы управляющих систем (релейно-контактная или микропроцессорная техника), в силовой части привода применяют пневматические распределители с электромагнитным управлением. Работа подобных пневмораспределителей основывается на свойстве находящихся под напряжением электромагнитных катушек втягивать расположенный в них якорь. Запорно-регулирующий элемент в таких аппаратах располагают непосредственно на торцах якоря, который помещается в гильзу, ввинченную в корпус. Снаружи гильза охватывается приводной электромагнитной катушкой (рис. 2.7.1).



- 1 – поворотное устройство; 2 – корпус; 3, 6 – седло клапана; 4 – пружина; 5 – якорь; 7 – катушка; 8 – коннектор

Рисунок 2.7.1 – 3/2-пневмораспределитель с электромагнитным управлением и ручным дублированием (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

Электромагнитные клапаны прямого действия используют электрическую энергию только для подъема плунжера против сила механической пружины. Поэтому этот тип в основном используется для клапанов с меньшим размером отверстия. Сила пружины должна быть больше, чем сила среды под седлом, а сила, создаваемая катушкой, больше, чем сила пружины.

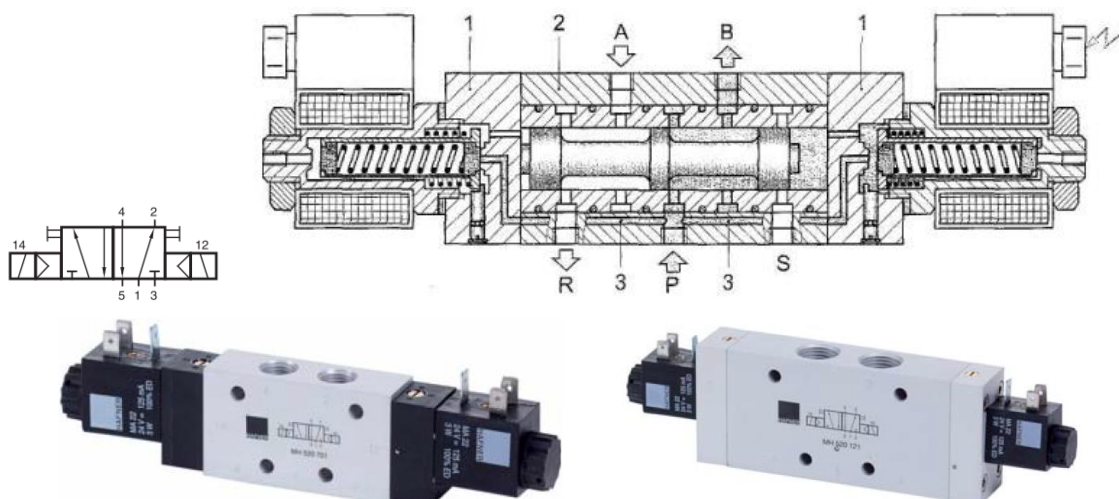
Пилотное электромагнитное управление представляет собой косвенное переключение, когда управляющий сигнал подается на катушку, которая переключает микроклапан, который в свою очередь открывает доступ воздуху в торцевую полость распределителя и тем самым смещает его золотник переключая распределитель в рабочую позицию.

Пневмораспределители с электромагнитным приводом (рис. 2.7.2) имеют, как правило, ручное дублирование, используемое обычно при пусконаладочных работах или при поиске отказа (если распределитель срабатывает от элемента ручного управления, это свидетельствует о том, что не работает катушка).



Рисунок 2.7.2 – Примеры вариантов пневмораспределителей с электромагнитным приводом

Бистабильные пневмораспределители с электропневматическим управлением представляют собой комбинацию двух пилотных электроуправляемых 3/2-пневмораспределителей 1 и базового распределителя 2 с двусторонним пневматическим управлением (рис. 2.7.3).



1 – электроуправляемый 3/2-пневмораспределитель; 2 – базовый распределитель с двусторонним пневматическим управлением; 3 – канал
Рисунок 2.7.3 – Бистабильный 5/2-пневмораспределитель с электропневматическим управлением (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

При подаче напряжения на одну из электромагнитных катушек срабатывает соответствующий пилотный распределитель, пропуская сжатый воздух к торцу ЗРЭ основного распределителя, что приводит к переключению последнего.

Для управления пневмоцилиндрами одностороннего действия применяются схемы прямого и непрямого управления, основанные на использовании трехлинейных двухпозиционных электропневмо-распределителей (ЭПР) с односторонним электромагнитным управлением и пружинным возвратом. Основные виды контактов, применяемые в электропневматических схемах представлены в табл. 2.7.1.

Таблица 2.7.1 – Обозначения электрических контактов

Вид контакта	Обозначение
Нормально открытый контакт	
Нормально закрытый контакт	
Нормально открытая кнопка с фиксацией	
Конечный механический выключатель	
Конечный механический выключатель активированный в данный момент	

Схема прямого управления представлена на рис. 2.7.4а. При нажатии на кнопку S1 замыкаются её электрические контакты 3, 4 и запитывается обмотка 1Y1 электромагнита электропневмораспределителя 1.1. (рис. 2.7.4а). Электромагнит срабатывает, ЭПР переключается, вызывая выдвижение штока. Отпускание кнопки приводит к разрыву цепи. Напряжение на обмотке электромагнита пропадает, ЭПР возвращается в исходную позицию, шток пневмоцилиндра под воздействием пружины втягивается.

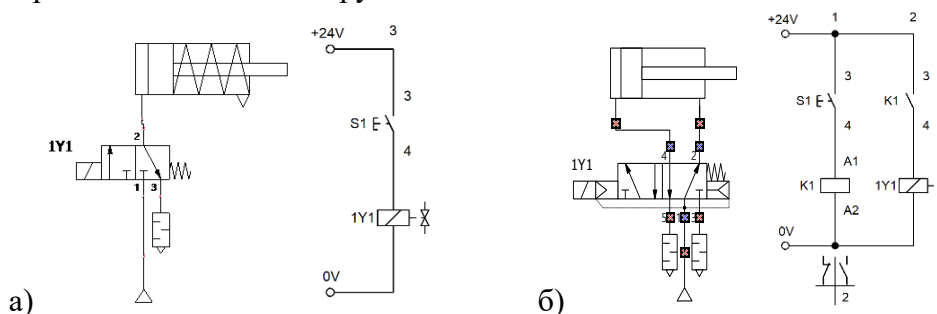


Рисунок 2.7.4 – Принципиальные пневматическая и электрическая схемы прямого управления пневмоцилиндром одностороннего действия (а) и принципиальные пневматическая и электрическая схемы непрямого управления пневмоцилиндром двустороннего действия (б)

Принципиальные схемы управления пневмоцилиндрами двустороннего действия (рис. 2.7.4б) отличаются от схем управления пневмоцилиндрами одностороннего действия тем, что там используется пятилинейный двухпозиционный электропневмораспределитель (рис. 2.7.4б).

Для обеспечения требуемых перемещений штоков пневмоцилиндров при выполнении различных технологических задач часто необходимо комбинировать сигналы от нескольких элементов управления с использованием логических функций. Например, чтобы обеспечить выдвижение штока пневмоцилиндра при нажатии на одну из двух пусковых кнопок S1 или S2, расположенных в различных местах, их подключают параллельно друг другу (рис. 2.7.5б), то есть используется электрический логический блок «ИЛИ». Если ни одна из кнопок не нажата, ЭПР 1.1 остается в исходной позиции. Шток пневмоцилиндра втянут. Если, по крайней мере,

одна из кнопок нажата или нажаты обе кнопки S1 и S2, ЭПР переключается. Шток пневмоцилиндра выдвигается. Наконец, когда обе кнопки отпущены, ЭПР возвращается в исходную позицию. Шток пневмоцилиндра втягивается.

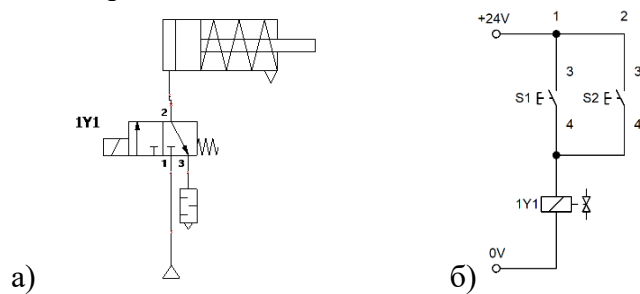


Рисунок 2.7.5 – Принципиальная пневматическая (а) и электрическая (б) схема прямого управления пневмоцилиндром одностороннего действия с использованием логического блока «ИЛИ» на базе двух параллельно подключенных контактных пар

В том случае, когда шток пневмоцилиндра должен двигаться только при одновременном нажатии на обе кнопки S1 и S2, контакты 3 и 4 этих кнопок подключаются последовательно друг за другом и образуют логический блок «И».

Схемы, представленные на рис. 2.7.6, обеспечивают многократное выполнение рабочего цикла. В исходном положении шток пневмоцилиндра втянут и активирован магнитный датчик B1.

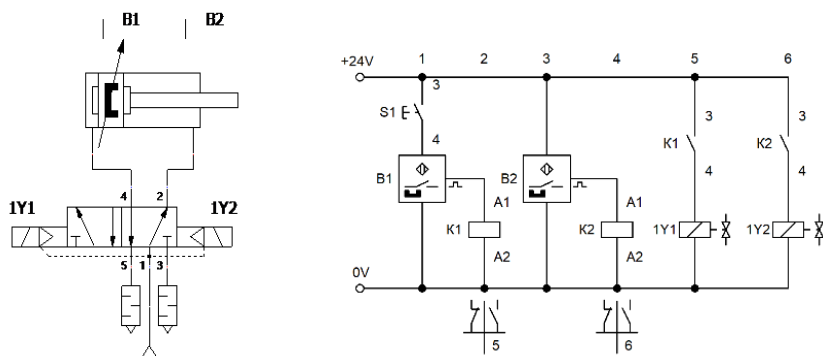


Рисунок 2.7.6 – Схема пневматическая (а) и электрическая (б) пневмопривода для многократного выполнения в автоматическом режиме рабочих циклов

Если нажать кнопку S1, запитывается катушка реле K1, замыкается контакт K1 и ток поступает на катушку 1Y1 электромагнита ЭПР. Он переключается и шток пневмоцилиндра выдвигается. При достижении штоком крайнего выдвинутого положения срабатывает магнитный датчик B2, запитывается катушка реле K2, замыкается её контакт K2, и ток поступает на катушку 1Y2 электромагнита ЭПР, который переключается в исходное положение, и шток пневмоцилиндра втягивается. Если кнопка S1 останется нажатой, после полного втягивания штока и срабатывания B1 начнется новый цикл работы. Если же кнопка S1 не нажата, шток останется в крайнем втянутом положении.

Управление пневмоцилиндром с использованием бесконтактных датчиков положения показано на рис. 2.7.7.

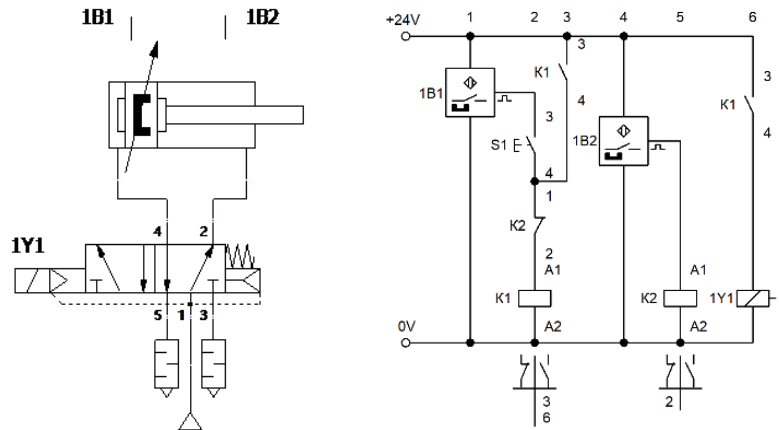
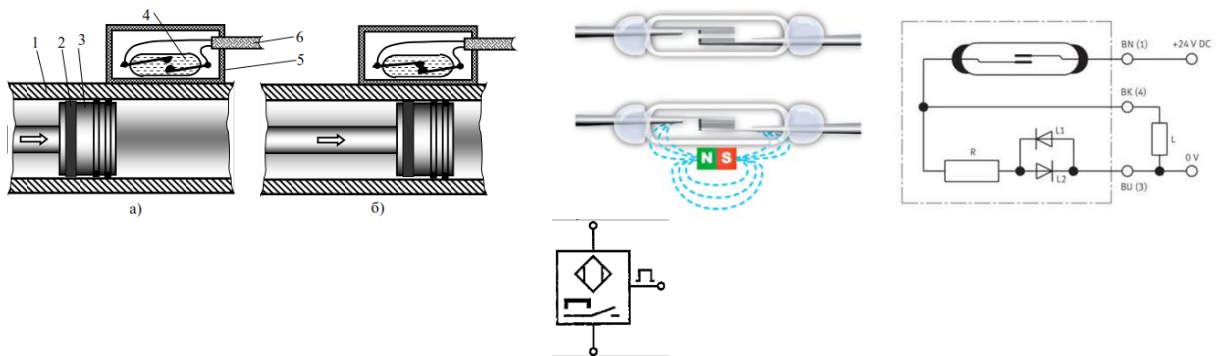


Рисунок 2.7.7 – Управление пневмоцилиндром с использованием бесконтактных датчиков положения

Применение геркона в качестве датчика положения показано на рис. 2.7.8.



а – поршень вне зоны чувствительности геркона, б – поршень в зоне чувствительности геркона, 1 – цилиндр; 2 - магнитное кольцо (вставка); 3 – поршень; 4 – геркон; 5 - корпус геркона; 6 - вывод электрических контактов

Рисунок 2.7.8 – Применение геркона в качестве датчика положения

Индуктивный датчик состоит из электрического осциллятора, триггера и усилителя. При подаче на датчик напряжения осциллятор генерирует высокочастотное переменное магнитное поле, волны которого направлены перед чувствительным элементом датчика. Если в пределах действия этого поля окажется электропроводный объект (из металла или графита), осцилляции ослабляются.

Емкостной датчик состоит из емкости и сопротивления, которые вместе образуют RC-осциллятор, а также из цепи оценки частоты. Когда в пределах рассеянного поля оказывается материальный объект, емкость изменяется, осцилляции затухают и на выходе появляется сигнал. Емкостные датчики реагируют не только на токопроводящие материалы, но и на диэлектрики (пластмассы, стекло, керамику, дерево).

Оптические датчики для обнаружения объекта используют оптику и электронику светодиоды и фотодиоды и фототранзисторы. Различают три типа использования оптических датчиков (односторонний световой барьер, отражательный световой барьер и диффузионный отражатель).

Обозначение датчиков различных типов (индукционного, емкостного и оптического) на принципиальных схемах показано на рисунке 2.7.9.

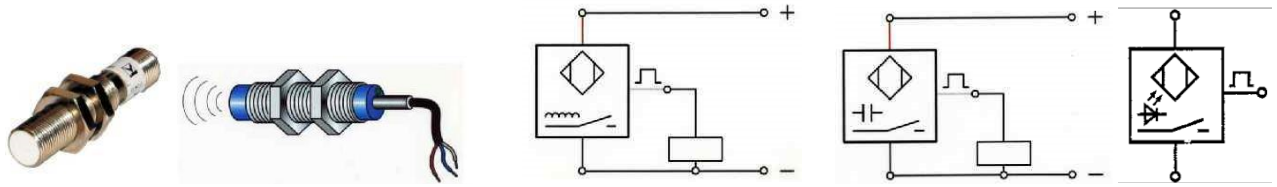


Рисунок 2.7.9 – Обозначение датчиков различных типов (индукционного, емкостного и оптического) на принципиальных схемах

Также могут применяться ультразвуковые датчики положения.

Схема с задержкой втягивания штока показана на рис. 2.7.10. При нажатии на кнопку S1 шток выдвигается. Когда он достигает крайнего положения, срабатывает магнитный датчик 1B2. Ток течет по обмотке реле K2. Но контакт K2 остается разомкнутым, пока не истечет заданное время. Затем контакт замыкается, и шток втягивается.

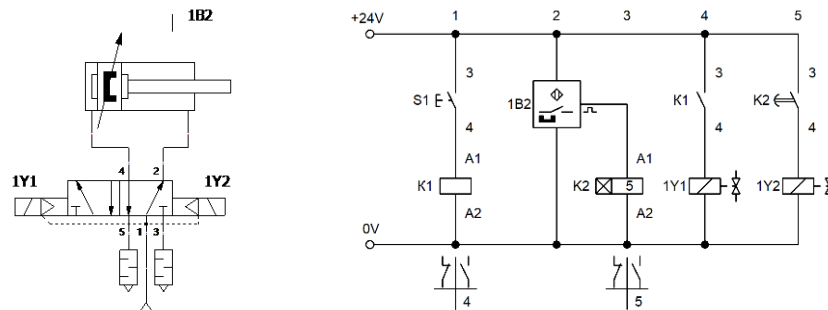
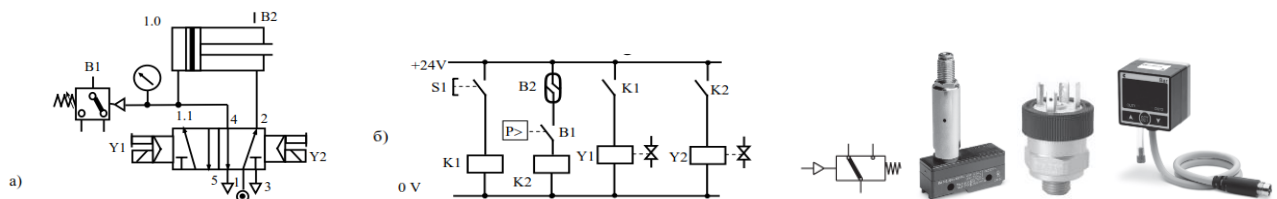


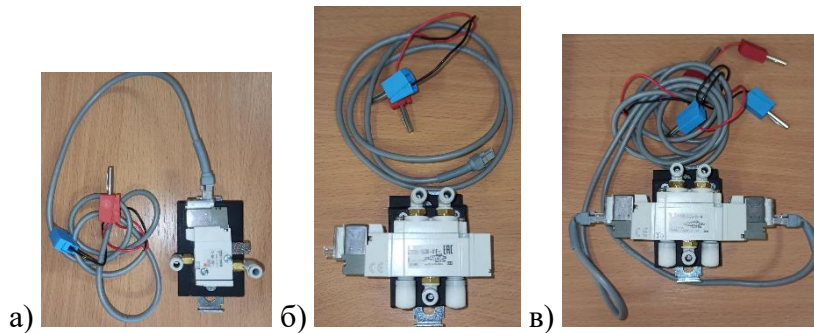
Рисунок 2.7.10 – Управление пневмоцилиндром с использованием реле времени

Схема с датчиком давления показана на рис. 2.7.11. Пусть, например, пневматический цилиндр используется в приводе устройства для клеймения деталей, и для получения нормального оттиска без разрушения детали необходимо обеспечить определенное усилие на штоке. Пуансон, приводимый в действие штоком, перемещается в направлении детали при нажатии кнопки. При достижении некоторого положения, определяемого положением детали, шток должен развить некоторое усилие в направлении детали, то есть на поршень должно действовать вполне определенное давление сжатого воздуха.



а – пневмосхема; б – электрическая схема; в – варианты исполнения датчиков/реле давления
Рисунок 2.7.11 – Управление пневмоцилиндром с использованием датчика давления

Пневмораспределители с электроуправлением используемые для выполнения лабораторных работ по данной дисциплине представлены на рис. 2.7.12.



а – 2/3; б – 5/2 моностабильный; в – 5/2 бистабильный
 Рисунок 2.7.12 – Пневмораспределители с электроуправлением

Схема управление тандем пневмоцилиндрами представлена на рисунке 2.7.13. При включении распределителей с электромагнитным управлением происходит одновременная подача воздуха к двум поршневым полостям тандем пневмоцилиндра (рис. 2.7.13а) или трем полостям (рис. 2.7.13б). Обратное движение происходит при пружинном возврате пневмораспределителя в исходное положение и подаче воздуха в одну штоковую полость.

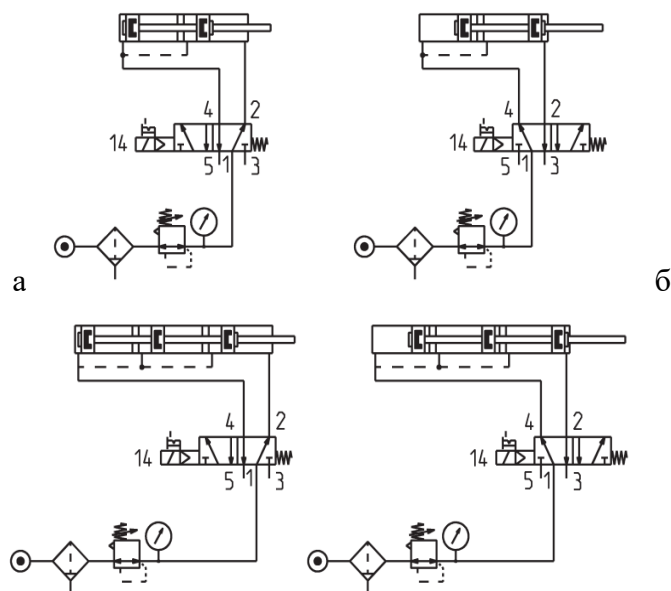


Рисунок 2.7.13 – Управление тандем пневмоцилиндрами

На рисунке 2.7.14 представлена принципиальная схема управления тремя контурами с пневмоцилиндрами С1, С2 и С3 с различными способами регулирования скорости движения.

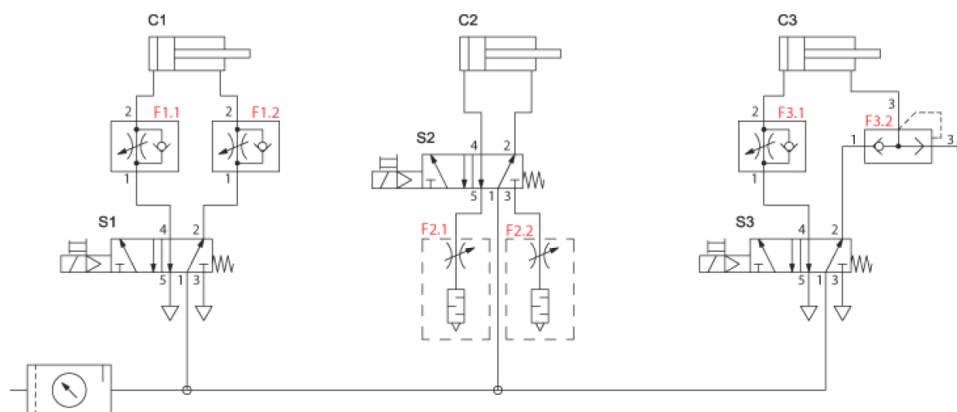


Рисунок 2.7.14 – Схема управления пневмоцилиндрами с различными способами регулирования скорости движения

Контур 1 (цилиндр С1):

Цилиндр двустороннего действия С1 управляется одним электромагнитным 5/2-ходовым клапаном S1. Как только клапан срабатывает, воздух поступает в поршневую камеру цилиндра через F1.1. Поток воздуха не ограничивается F1.1, так как проходит через открытый обратный клапан. Одновременно воздух должен выйти из штоковой камеры цилиндра через F1.2. Этот поток ограничен F1.2, так как проходит через дроссель. Через распределительный клапан S1 (порт 3) воздух окончательно выпускается. Как только электрическое управление пневмораспределителем S1 прекращается, клапан возвращается в нормальное положение. Воздух на полной скорости поступает через F1.2 в штоковую камеру цилиндра С1, а воздух из поршневой камеры выходит через F1.1 и S1, выпускаясь через порт 5 пневмораспределителя S1. Этот поток ограничивается / регулируется F1.1. Положительное движение цилиндра регулируется F1.2, отрицательное движение ограничивается F1.1. F1.1. и F1.2. можно ввинчивать либо в цилиндр, либо в распределитель.

Контур 2 (цилиндр С2):

Цилиндр двустороннего действия С2 управляется одним электромагнитным 5/2-ходовым клапаном S2. Скорость движения цилиндра регулируется глушителями с регуляторами расхода (дросселями) F2.1 и F2.2., которые ввинчены в распределитель. Для прямого движения необходимо активировать распределитель S2. Воздух на полной скорости течет из порта 1 в порт 4 клапана и в поршневую камеру цилиндра С2. При этом воздух необходимо выпустить из штоковой камеры цилиндра. Воздух поступает в порт 2 распределителя S2. Его поток ограничивается F2.2 перед выходом из клапана S2 в порте 3. При обратном движении клапан переключается обратно в стандартное положение. Питание штоковой камеры осуществляется через порт 2 клапана S2. Выхлоп из поршневой камеры ограничивается F2.1 в канале 5 клапана S2.

Контур 3 (цилиндр С3):

Цилиндр двустороннего действия С3 управляется одним электромагнитным 5/2-ходовым клапаном S3. Для чрезвычайно быстрого прямого движения после срабатывания клапана, штоковая камера опорожняется клапаном быстрого выпуска F3.2. Выхлопной воздух не проходит через пневмораспределитель S3. Для обратного движения клапан S3 должен вернуться в нормальное положение. Выхлопной воздух из поршневой камеры должен проходить через односторонний регулятор расхода F3.1.

На рисунке 2.7.15 представлены схемы, иллюстрирующие управление работой многопозиционных пневмоцилиндров. При срабатывании левого распределителя поршни совместно перемещаются из исходной нулевой позиции в первую на расстояние X1, а при включении правого распределителя правый поршень перемещается в крайнее правое положение обеспечивая суммарное перемещение штока на расстояние X2.

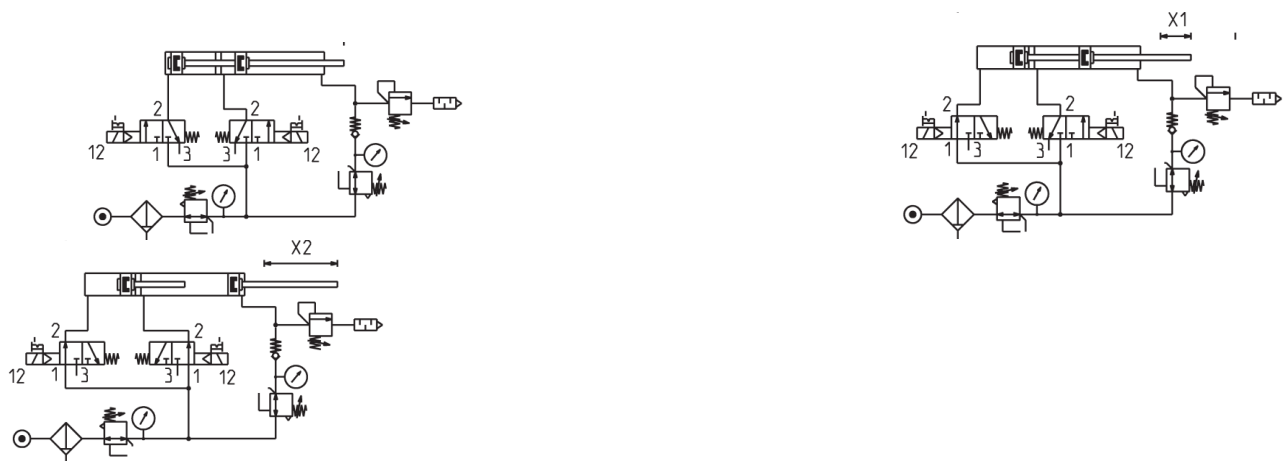
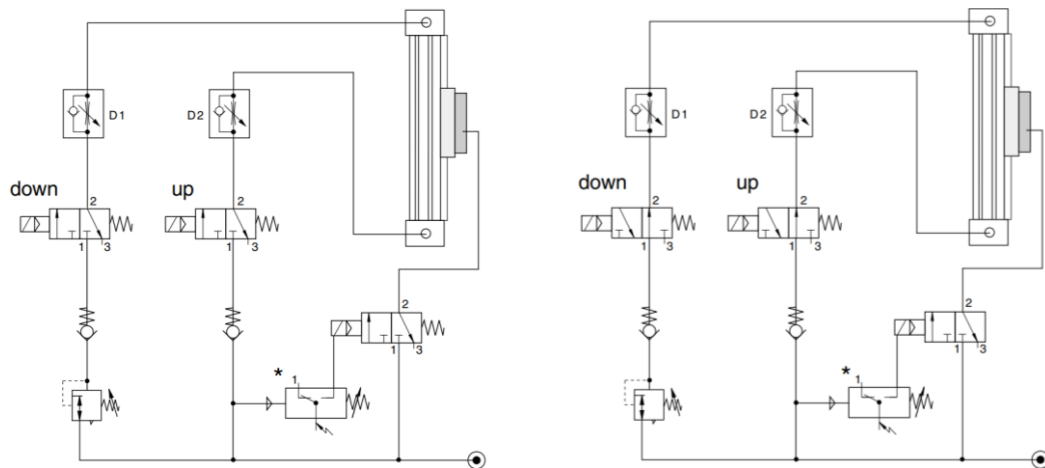


Рисунок 2.7.15 – Управление работой многопозиционных пневмоцилиндров

Управление вертикальным пневмоцилиндром с фиксацией представлено на рисунке 2.7.16.



а – использование нормально закрытых 3/2 пневмораспределителей; б – использование нормально-открытых 3/2 пневмораспределителей

Рисунок 2.7.16 – Управление вертикальным пневмоцилиндром с фиксацией

В нормальных условиях эксплуатации реле давления закрыто. Золотниковый клапан 3/2 подает воздух в тормоз, чтобы отпустить его и позволить подвижному элементу пневмоцилиндра перемещаться. В случае потери давления или провала давления реле давления активирует клапан и блокирует движение цилиндра. Когда давление в двух камерах цилиндров восстанавливается, тормоз снова отпускается.

Редукторы потока D1 и D2 не оказывают никакого влияния на тормоз. Два обратных клапана повышают стабильность системы. Регулятор давления используется для компенсации силы нагрузки при вертикальном применении.

Проектирование систем управления (циклограмма типового пневмопривода)

При разработке систем управления необходима четкая постановка задачи. Известно несколько способов представления задачи в описательной или графической форме. Системы управления должны быть снабжены следующей документацией:

- эскиз объекта управления,
- диаграмма "перемещение-шаг",
- диаграмма "перемещение-время",

- диаграмма управления,
- диаграмма функционирования,
- функциональная схема,
- принципиальная схема.

Эскиз объекта управления

Эскиз объекта управления дает представление о пространственном расположении исполнительных устройств на установке, работой которой управляет пневматическая система. Обычно эскиз изображается не в масштабе и не очень подробно, но ориентация исполнительных устройств показывается правильно. Эскиз сопровождается описанием работы установки (машины) и диаграммой движения исполнительных устройств.

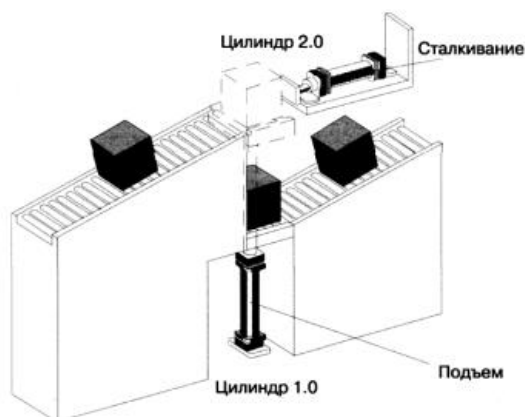


Рисунок 2.7.17 – Пример эскиза объекта управления

Диаграмма "перемещение-шаг" и диаграмма "перемещение-время" являются диаграммами движения. Диаграмма "перемещение-шаг" применяется для схематического представления последовательности движения. Диаграмма показывает последовательность работы исполнительных устройств. На ней представляется зависимость пути от шага (рис. 2.7.18).

Если система состоит из нескольких исполнительных устройств, то их перемещения изображаются на диаграмме одно под другим. Сравнивая положение отдельных исполнительных устройств на каждом шаге, можно установить взаимосвязь между их положением.

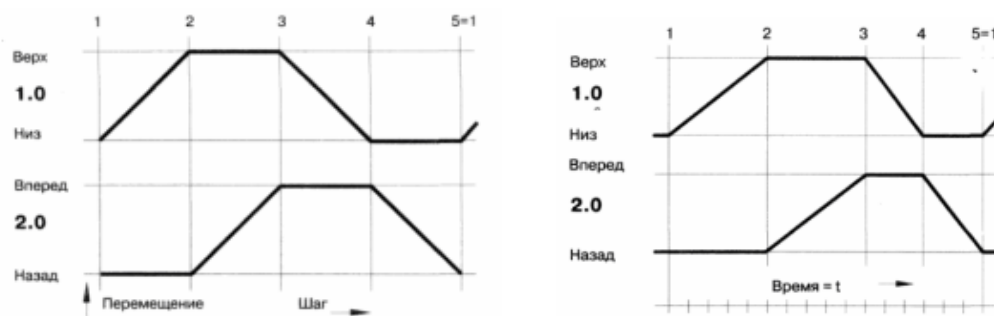


Рисунок 2.7.18 – Диаграмма "перемещение-шаг" и диаграмма "перемещение-время"

Функциональная диаграмма представлена на рис. 2.7.19.

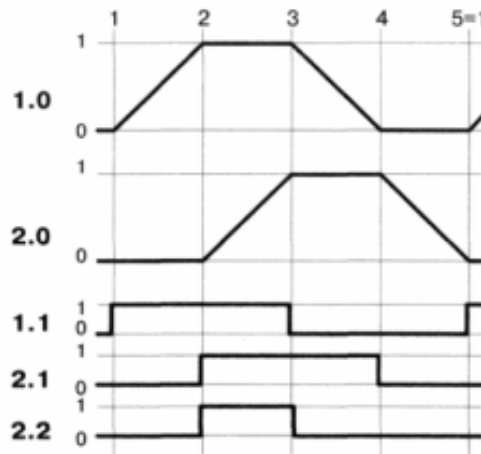


Рисунок 2.7.19 – Функциональная диаграмма

Наряду с функциональными линиями на функциональной диаграмме могут изображаться линии сигналов, которые описаны в нормах VDI 3260 "Функциональные диаграммы рабочих машин и производственных установок".

Линии сигналов изображаются линией со стрелкой (рис. 2.7.20). Они выходят из изображения информационных элементов и заканчиваются в том месте диаграммы, где от действия этого сигнала должно осуществляться изменение состояния. Стрелки на линии сигналов обозначают направление действия сигнала управления.

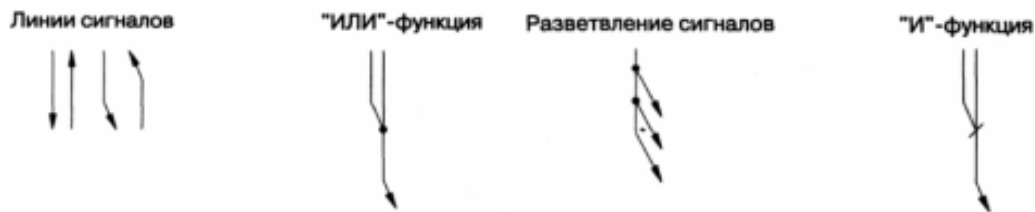


Рисунок 2.7.20 – Изображение линий сигналов

Изображение входных устройств представлено на рис. 2.7.21.



Рисунок 2.7.21 – Изображение входных устройств

Диаграмма "перемещение-шаг" с линиями сигналов показана на рис. 2.7.22.

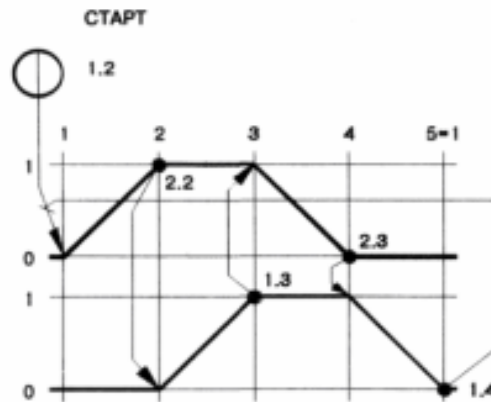


Рисунок 2.7.22 – Диаграмма "перемещение-шаг" с линиями сигналов

Диаграмма описывает следующий процесс: если включается концевой выключатель 1.4 и оператор нажимает кнопку 1.2, то выдвигается шток цилиндра 1.0. Когда цилиндр 1.0 полностью выдвинется, то включится концевой выключатель 2.2 и выдвинется шток цилиндра 2.0. Когда цилиндр 2.0 выдвинется, то включится концевой выключатель 1.3 и шток цилиндра 1.0 начнет втягиваться. Когда цилиндр 1.0 втянется, то включится концевой выключатель 2.3 и начнет втягиваться цилиндр 2.0.

Когда шток цилиндра 2.0 втянется, то включится концевой выключатель 1.4, т.е. система вернется в исходное положение.

Эскиз объекта управления и диаграмма "Перемещение - шаг" показаны на рис. 2.7.23.

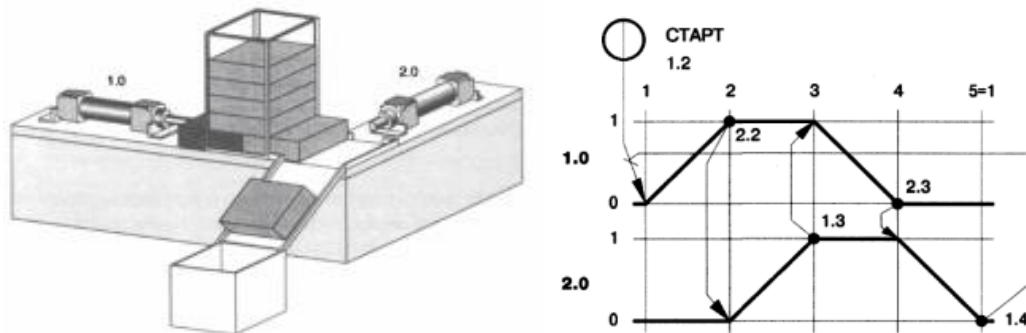


Рисунок 2.7.23 – Эскиз объекта управления и диаграмма "Перемещение - шаг"

Принципиальная схема пневмопривода представлена на рис. 2.7.24.

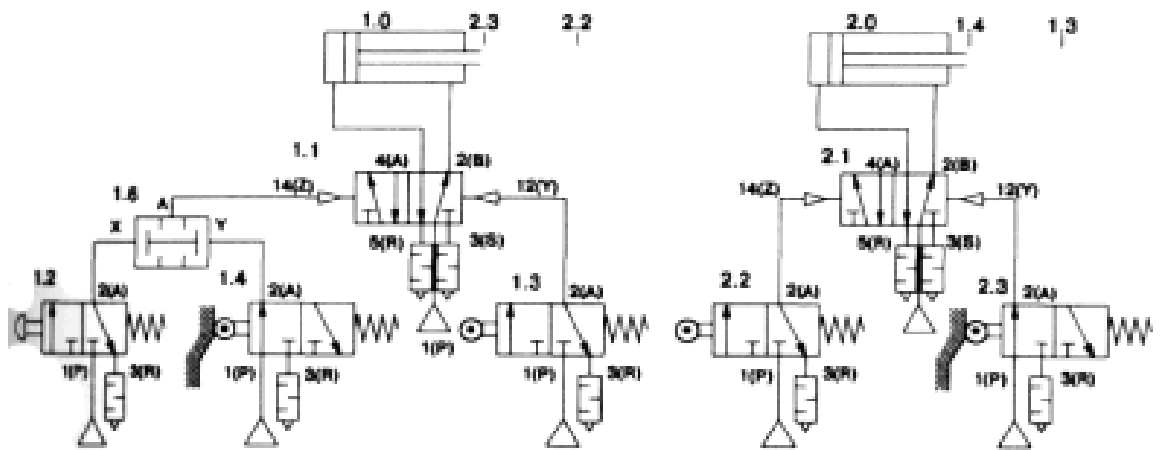


Рисунок 2.7.24 – Принципиальная схема пневмопривода

Принципиальная схема пневмосистемы вертикально-сверлильного станка представлена на рис. 2.7.25.

Вертикально-сверлильный станок оснащен поворотным столом с двумя вертикально расположенными накопителями. Один из них предназначен для заготовок, а второй – для деталей после сверления. Поворотный стол имеет отверстия для ориентации заготовок и транспортирования их на позиции обработки отверстий. Цилиндр 1 производит поворот стола на заданный угол, цилиндры 2 и 3 предназначены для загрузки очередной заготовки в отверстие стола и удаления просверленной детали.

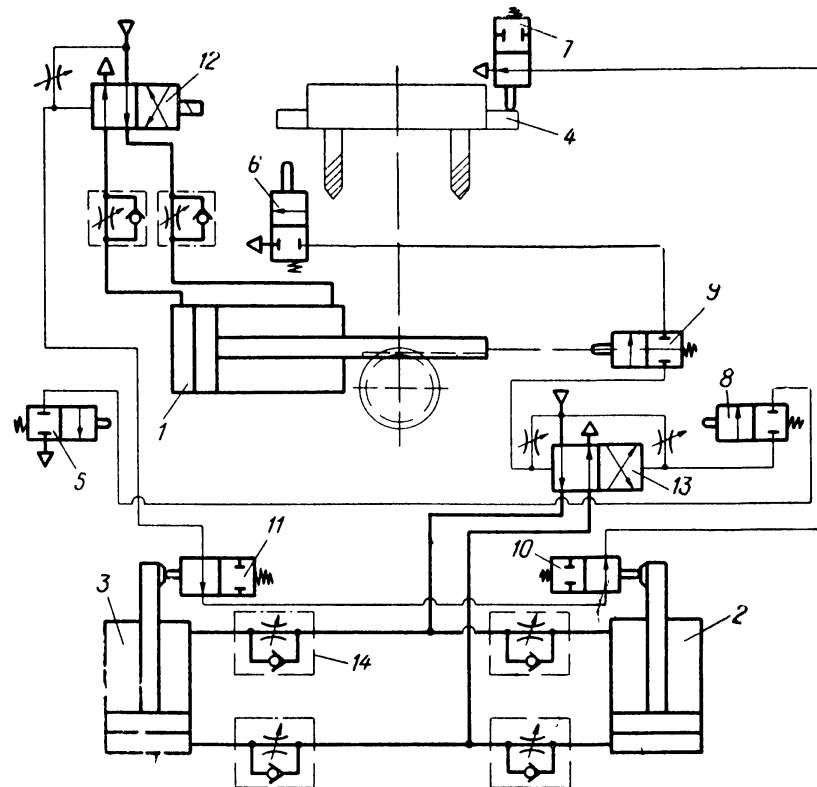


Рисунок 2.7.25 – Принципиальная схема пневмосистемы вертикально-сверлильного станка

При подаче электрического сигнала на электромагнит распределителя 12 он переключается и подает сжатый воздух из магистрали в бесштоковую полость цилиндра 1. Переключение этого распределителя обеспечивается сбросом давления воздуха из пневматически управляемой полости его через включенные распределители 11, 10 и 7. Шток цилиндра 1 перемещается вправо и с помощью рейки и шестерни осуществляет поворот стола. В конце перемещения штока переключается распределитель 9, одновременно включается электрический конечный выключатель, который подает сигнал на перемещение шпинделя станка со сверлильной головкой 4.

Головка воздействует на распределитель 6, он срабатывает и через включенный распределитель 9 сбрасывает давление воздуха из пневматически управляемой полости распределителя 13. Под воздействием избыточного давления в другой полости этого распределителя он переключается и подает сжатый воздух в бесштоковые полости цилиндров 2 и 3. Их штоки перемещаются вверх, освобождают ролики распределителей 10 и 11, и они переключаются. Благодаря возрастающему давлению воздуха в левой полости распределителя 12 он переключается, и шток цилиндра 1 возвращается в исходное положение. При этом стол удерживается в нужном положении фиксаторами. Штоки цилиндров 3 и 2 производят удаление деталей в накопитель и подачу очередной заготовки в отверстие стола. После окончания операции сверления срабатывают два рычага, которые переключают распределители 5 и 8. Подается сигнал на переключение распределителя 13, и срабатывают цилиндры 2 и 3. Их штоки опускаются в исходное положение и переключают распределители 10 и 11. Одновременно электрический конечный выключатель подает сигнал на подъем шпинделя станка. Цикл работы механизмов и аппаратов управления повторится после включения распределителя 7 и подачи очередного электрического сигнала на распределитель 12. Скорость перемещения штоков всех трех цилиндров регулируется дросселями 14 с обратными клапанами.

Устройство создания ударов и вибрации представлена на рисунке 2.7.26.

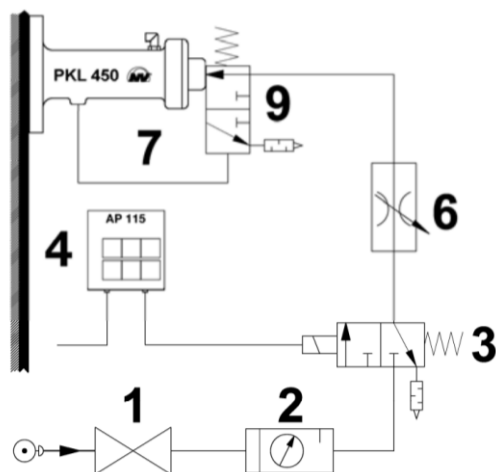


Рисунок 2.7.26 – Использование пневматических устройств для создания вибрации

Воздух подается к устройству через клапан 1 и блок подготовки воздуха 2. В этой установке устройство 7 (PKL 450) продолжает работать до тех пор, пока не наступит время, задаваемое элементом 4, который выключает распределитель 3. Когда поршень прижимается к пружине, пилотное отверстие открыто, при этом клапан 9 переключается через линию 7 и срабатывает удар. После этого клапан снова открывается. Частота ударов задается дросселем 6.

Примеры реализации пневмосхем транспортных средств

Пневмоэлементы устанавливаемые на транспортных средствах имеют свои особенности и в данном курсе не рассматриваются. Далее приводится общая информация о элементном составе и конструктивных схемах пневмопривода транспортных средств.

Предохранители против замерзания

Полное удаление влаги из пневмопривода явилось весьма трудной технической задачей. В настоящее время довольно популярным (хотя и компромиссным) решением проблемы полного удаления влаги из пневмопривода является введение в сжатый воздух низкозамерзающей жидкости, которая смешивается с водой в пневмоприводе и образует раствор, температура замерзания которого ниже, чем у воды. Это позволяет эксплуатировать автомобиль при отрицательных температурах окружающего воздуха.

Самой распространенной жидкостью, наиболее отвечающей указанным требованиям и рекомендованной к применению является технический этиловый спирт-ректификат.

Недостатком спирта является его повышенная коррозионная активность к некоторым металлам.

В качестве приводных устройств тормозных кранов применяются рычажная система (тормозной кран с рычагом), педаль тормоза (подпедальный кран) и гидравлический привод. Пневмоаппараты, с помощью которых в сжатый воздух вводится антифриз, называются предохранителями против замерзания.

Важнейшим показателем тормозного крана является количество имеющихся в нем секций. Ранее, до введения требования о двухконтурности привода рабочей тормозной системы, широко применялись односекционные тормозные краны. Позже нашли применение комбинированные тормозные краны, у которых одна секция (прямого действия) управляла тормозным приводом тягача, а вторая (обратного действия) – одноприводным приводом тормозов прицепа. После введения требования о двухконтурности начали применяться двухсекционные краны с двумя одинаковыми секциями. Реже применяются и трехсекционные краны (с двумя секциями для тягача и одной секцией прицепа, все секции прямого действия).

Можно выделить четыре группы аппаратов передаточного механизма:

- аппараты регулирования давления, основной задачей которых является улучшение распределения тормозных сил АТС, уменьшение вероятности блокирования его колес;

- ускорительные аппараты, повышающие быстродействие тормозного привода, что особенно необходимо на длиннобазных и сочлененных АТС;

- аппараты управления тормозами прицепа, которые обеспечивают торможение прицепных АТС и его соответствие торможению тягача;

- коммутационная аппаратура, связывающая части пневмопривода в единое целое и выполняющая иногда некоторые дополнительные функции.

Исполнительные органы предназначены для преобразования энергии сжатого воздуха в силу, приводящую в действие тормозной механизм или какой-либо другой узел. Основой любого органа является подвижный элемент, воспринимающий давление сжатого воздуха и воздействующий на выходной шток органа. Таких подвижных элементов может быть два: поршень либо мембрана. В зависимости от типа подвижного элемента различают два вида исполнительного органа пневмопривода: цилиндр, внутри которого перемещается поршень; камера, в которой имеется подвижная мембрана.

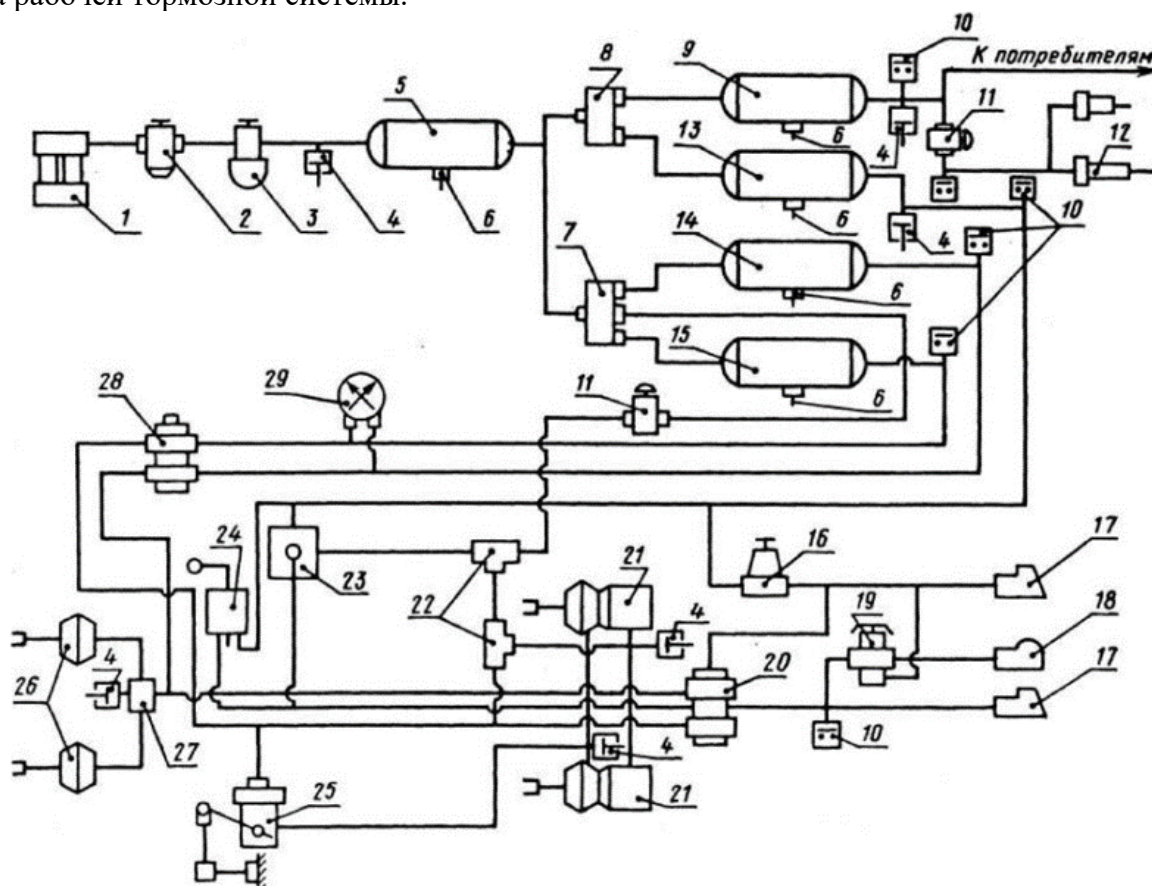
И камеры, и цилиндры являются исполнительными органами привода прямого действия, т.е. создают силу при подводе сжатого воздуха. В последние годы в связи с распространением пневматических приводов обратного действия получил распространение новый тип исполнительного органа – пружинный энергоаккумулятор (ПЭА). Сила на штоке ПЭА создается за счет установленной в нем пружины при отсутствии сжатого воздуха. Пневматический подвижный элемент (поршень или мембрана) используется в ПЭА для растормаживания и удержания пружины в сжатом состоянии.

Применяется ПЭА на автомобилях в основном в качестве исполнительных органов запасной или стояночной тормозных систем.

Схема пневмопривода тормозной системы автомобиля ЗИЛ-433100 представлена на рис. 2.7.27.

Принципиальная схема пневматического тормозного привода автомобиля ЗИЛ-433100 показана на рис. 2.7.27.

Сжатый воздух из компрессора 1 через регулятор давления 2 и предохранитель от замерзания конденсата 3 через воздушный баллон (конденсационный ресивер) 5 поступает к двойному 8 и тройному 7 защитным клапанам, которые, в свою очередь, распределяют воздух, заполняя воздушные баллоны следующих независимых контуров тормозного привода: тормозных механизмов задних колес 14; тормозных механизмов передних колес 15; стояночной и запасной тормозных систем, а также комбинированного привода тормозов прицепа или полуприцепа 13. Во всех воздушных баллонах имеются краны 6 слива конденсата, а в указанных контурах встроены пневматические датчики световых указателей падения давления сжатого воздуха. Двухстрелочный манометр 29 соединен с воздушными баллонами тормозного привода рабочей тормозной системы.



1 – компрессор; 2 – регулятор давления; 3 – предохранитель против замерзания; 4 – клапан контрольного вывода; 5 – конденсационный воздушный ресивер; 6 – кран слива конденсата; 7 – тройной защитный клапан; 8 – двойной защитный клапан; 9 – воздушный ресивер вспомогательной тормозной системы; 10 – датчик падения давления; 11 – кран пневматический; 12 – цилиндры управления вспомогательным тормозом; 13 – воздушный ресивер стояночной и запасной тормозных систем; 14, 15 – воздушные ресиверы рабочей тормозной системы; 16 – одинарный защитный клапан; 17 – автоматическая соединительная головка; 18 – соединительная головка типа А; 19 – клапан управления тормозами прицепа с однопроводным приводом; 20 – клапан управления тормозами прицепа с двухпроводным приводом; 21 – тормозные камеры задних колес; 22 – клапаны двухмагистральные перепускные; 23 – клапан ускорительный; 24 – кран тормозной обратной связи; 25 – регулятор тормозных сил; 26 – тормозные камеры передних колес; 27 – клапан ограничения давления; 28 – двухсекционный тормозной кран; 29 – двухстрелочный манометр

Рисунок 2.7.27 Принципиальная схема двухпроводного пневматического тормозного привода автомобиля ЗИЛ-433100

Для проверки работы тормозных систем в различных точках пневматического тормозного привода установлены клапаны 4 контрольного вывода, к которым присоединяют переносные манометры.

Первый контур включает воздушный баллон 14, датчик падения давления 10, нижнюю секцию тормозного крана 28, передние тормозные камеры 26 и клапан контрольного вывода.

Второй контур включает воздушный баллон 15, датчик падения давления 10, верхнюю секцию тормозного крана 28, регулятор тормозных сил с упругим элементом 25, задние тормозные камеры с пружинными энергоаккумуляторами 21 и клапан контрольного вывода.

Третий контур включает воздушный баллон 13, датчик падения давления в контуре 10, тормозной кран 24 стояночной тормозной системы, датчик сигнализатора о включении стояночной или запасной тормозной системы, ускорительный клапан 23, двухмагистральный клапан 22, предотвращающий срабатывание пружинных энергоаккумуляторов при одновременном включении рабочей и стояночной тормозных систем, клапан контрольного вывода, пружинные энергоаккумуляторы, а также одинарный защитный клапан 16, клапаны управления тормозом прицепа с двухпроводным 20 и однопроводным 19 приводом, две соединительные головки двухпроводного привода 17 и одну соединительную головку 18 типа А однопроводного привода тормозной системы прицепа.

При движении автомобиля пневматический привод находится в следующем состоянии:

- воздушные баллоны заполнены сжатым воздухом;
- от воздушных баллонов сжатый воздух подведен к секциям тормозного крана рабочей тормозной системы, тормозному крану стояночной тормозной системы, ускорительному клапану, одинарному защитному клапану;
- от ускорительного клапана через двухмагистральный перепускной клапан сжатый воздух подведен к пружинным энергоаккумуляторам, пружины которых под действием воздуха находятся в сжатом состоянии;
- от одинарного защитного клапана сжатый воздух подведен к клапанам управления тормозами прицепа с однопроводным и двухпроводным приводом, соединительной головке, питающей магистрали двухпроводного привода, а от клапана управления тормозной системой прицепа с однопроводным приводом к соединительной головке типа А;
- педаль рабочей тормозной системы находится в верхнем положении;
- рукоятка крана стояночной тормозной системы занимает крайнее переднее положение;
- соединительные головки закрыты крышками.

При движении автомобиля-тягача с прицепом, имеющим однопроводный тормозной привод, соединительная головка типа А тягача подключена к соединительной головке типа Б прицепа, и сжатый воздух поступает в тормозную систему прицепа через одинарный защитный клапан и клапан управления однопроводной тормозной системой прицепа. Соединительные головки двухпроводного привода тормозной системы прицепа при этом должны быть закрыты крышками.

При движении автомобиля-тягача с прицепом, имеющим двухпроводной тормозной привод, соединительные головки, питающие и управляющие тормозной системой прицепа, подключены к соответствующим головкам прицепа, и сжатый воздух поступает в тормозную систему прицепа по питающей магистрали через одинарный защитный клапан. Давление в управляющей магистрали равно давлению окружающей среды.

При нажатии на педаль рабочей тормозной системы сжатый воздух, подведенный из воздушных баллонов к секциям тормозного крана, поступает через вывод верхней секции и регулятор тормозных сил в тормозные камеры, которые приводят в действие тормозные меха-

низмы задних колес. Из нижней секции тормозного крана сжатый воздух поступает в тормозные камеры передних колес. Таким образом, колеса автомобиля затормаживаются с интенсивностью, выбранной водителем, исходя из условий движения. Одновременно сжатый воздух от обеих секций тормозного крана подводится к управляющим полостям клапана управления тормозной системой прицепа с двухпроводным приводом.

При торможении автомобиля с прицепом, имеющим однопроводной тормозной привод, клапан управления тормозами прицепа с двухпроводным приводом срабатывает и подает сжатый воздух в магистраль к клапану управления тормозной системой прицепа с однопроводным приводом. В результате этого соединительные магистрали тягача и прицепа соединяются с атмосферным выводом клапана.

Воздухораспределитель тормозной системы прицепа пропускает сжатый воздух из баллонов прицепа к тормозным камерам, которые приводят в действие тормозные механизмы колес прицепа.

При торможении автомобиля с прицепом, имеющим двухпроводной тормозной привод, клапан управления тормозной системой прицепа с двухпроводным приводом подает сжатый воздух в управляющую магистраль двухпроводного привода. В результате воздухораспределитель срабатывает и пропускает воздух из баллонов прицепа в его тормозные камеры.

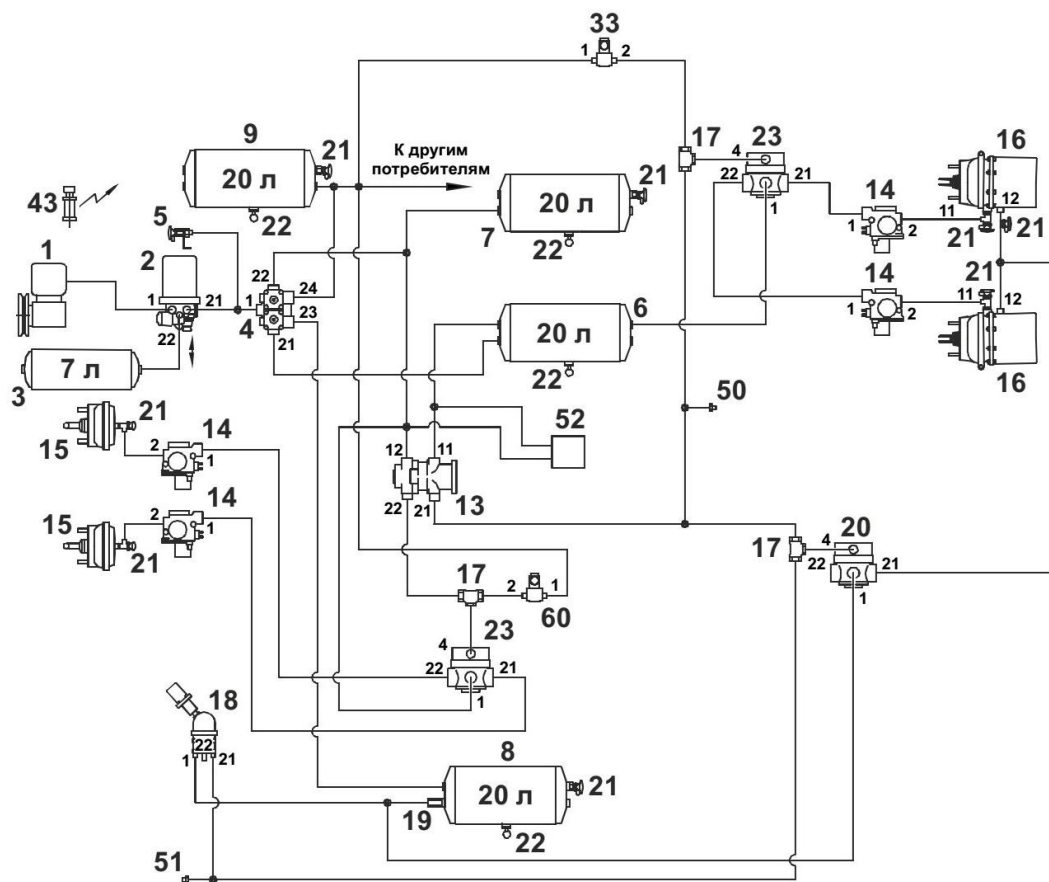
Некоторые элементы тормозной системы автомобиля представлены в таблице 2.7.2.

Таблица 2.7.2 – Элементы пневматической тормозной системы автомобиля

	Тормозная камера		Тормозная камера с энергоаккумулятором
	Осушитель (адсорбер)		Клапан защитный четырехконтурный
	Пневмоэлектрический датчик включения сигнала торможения		Кран аварийного растормаживания стояночной тормозной системы
	Двухстрелочный манометр рабочей тормозной системы		Главный тормозной кран
	Кран управления стояночной тормозной системой		Ускорительный клапан

	Двухмагистральный клапан		Регулятор тормозных сил
	Модулятор АБС		Пневмоусилитель с главным тормозным цилиндром
	Соединительные головки		Датчик давления воздуха

Схема еще одного варианта пневмопривода тормозной системы автомобиля представлена на рис. 2.7.28.



1 – компрессор; 2 – регулятор давления с адсорбером; 3 – ресивер регенерации; 4 – клапан четырехконтурный; 5 – буксирный клапан; 6 – ресивер заднего контура; 7 – ресивер переднего контура; 8 – ресивер стояночного контура; 9 – ресивер потребителей; 11 – пневмоцилиндр заслонки моторного тормоза; 12 – рычаг регулировочный; 13 – кран тормозной (кабина); 14 – модулятор АБС; 15 – камера тормозная передняя; 16 – камера тормозная с пружинным энергоаккумулятором; 17 – клапан двухмагистральный; 18 – кран стояночной тормозной системы (кабина); 19 – клапан обратный; 20 – клапан ускорительный стояночной тормозной системы; 21 – клапан контрольного вывода; 22 – клапан слива конденсата; 36 – головка соединительная управляющая (желтая головка); 37 – головка соединительная питающая (красная головка); 38 – блок датчиков; 39 – ЭПК заслонка моторного тормоза; 40 – ЭПК постоянных дросселей двигателя; 41 – клапан электромагнитный; 42 – клапан редуцирующий; 43 – кнопка включения заслонки моторного тормоза (кабина); 50 – датчик давления; 51 – датчик стояночного тормоза; 52 – датчик комбинированный; 60 – ЭПК системы курсовой устойчивости

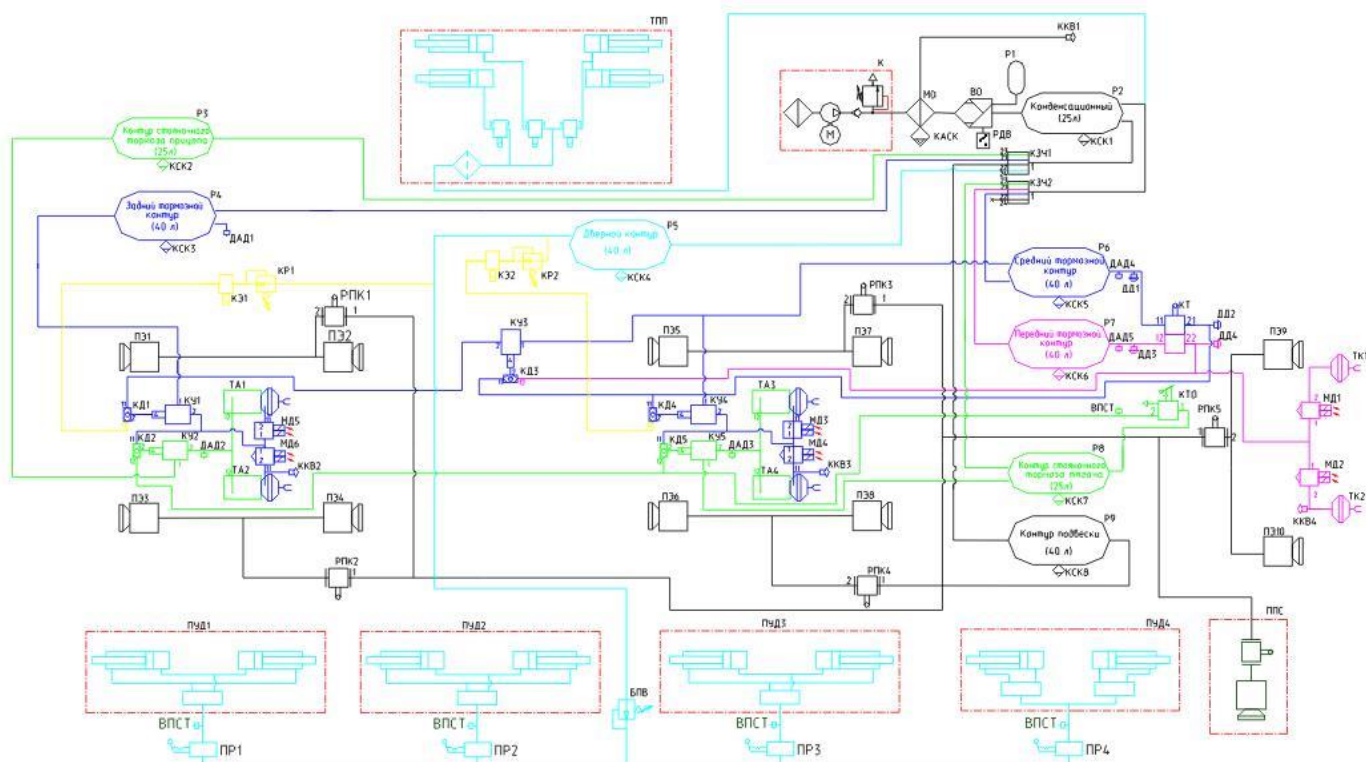
Рисунок 2.7.28 – Схема пневмопривода тормозной системы автомобиля

Пневмосистема троллейбуса

Пневмосистемы троллейбусов помимо тормозной системы включают и другие подсистемы.

Все приборы и аппараты пневматического оборудования условно делятся на три группы или системы. Каждая система имеет определенное назначение. Первая система - напорная: служит для получения и аккумуляции сжатого воздуха. Вторая система - тормозная: служит для приведения в действие механических тормозов. Третья система - вспомогательная: служит для - поддержания давления в пневмоэлементах и работы дверного привода.

Пневмосистема троллейбуса АКСМ213 представлена на рис. 2.7.29.



ПУД1..ПУД4 – привод дверей; ПЭ1..ПЭ10 – элемент упругий пневматический подвески; Р1..Р9 – ресивер; РДВ – регулятор давления; РПК1..РПК5 – кран уровня пола; ТА1..ТА4 – камера тормозная с энергоаккумулятором; ТК1, ТК2 – камера тормозная; ТПП – установка токоприемников с пневмоприводом; МД1..МД6 – модулятор АБС; БПВ – блок подготовки воздуха; ВО – воздухоосушитель; ВПСТ – выключатель пневматического сигнала тормоза; ДАД1..ДАД5 – датчик давления воздуха; ДД1..ДД4 – датчик давления воздуха; К – компрессорная установка; КАСК – клапан автоматического слива; КД1..КД5 – клапан двухмагистральный; КЗЧ1, КЗЧ2 – клапан защитный четырехконтурный; ККВ1..ККВ4 – клапан контрольного вывода; КР1, КР2 – клапан редукционный; КСК1..КСК8 – клапан слива конденсата; КТ – кран тормозной двухсекционный с рычагом; КТО – кран тормозной обратного действия с ручным управлением; КУ1..КУ5 – клапан ускорительный; КЭ1, КЭ2 – клапан КЭМ; МО – маслоотделитель; ППС – подвеска пневматическая сидения водителя; ПР1..ПР4 – пневмораспределитель

Рисунок 2.7.29 – Пневмосистема троллейбуса АКСМ213

Пневматическая схема грузового электровоза 2ЭС5К

Грузовой электровоз переменного тока 2ЭС5К имеет автоматический прямодействующий, вспомогательный прямодействующий неавтоматический тормоз, электрический рекуперативный и ручной тормоз.

Пневматическая схема с краном машиниста №395 одной секции электровоза 2ЭС5К представлена на рис. 2.7.30. Схемы обеих секций электровоза одинаковы.

Источником сжатого воздуха, поступающего в пневматическую систему электровоза (электровоза с бустерной секцией) является компрессор КМ1, работающий с частотой вращения 1450 об/мин и обеспечивающий производительность 3,5 м³/мин. Компрессор нагнетает сжатый воздух в группу главных резервуаров РС1, РС2 и РС3 общим объемом 1050 л. Из резервуаров сжатый воздух через маслоотделитель МО1 поступает в питательную магистраль.

Схема обеспечивает повторно-кратковременный режим работы компрессора. Для этого применен датчик-реле давления SP6. При достижении давления в главных резервуарах 9,0 кгс/см² компрессор отключается. При падении давления в резервуарах до 7,5 кгс/см² датчик-реле давления включает компрессор. Для защиты резервуаров от повышенного давления установлены предохранительные клапаны КП1 и КП2, которые отрегулированы на давление срабатывания 10,0 кгс/см². Количество предохранительных клапанов, выбрано исходя из их пропускной способности. Компрессор защищен от противодействия со стороны главных резервуаров обратным клапаном КО7.

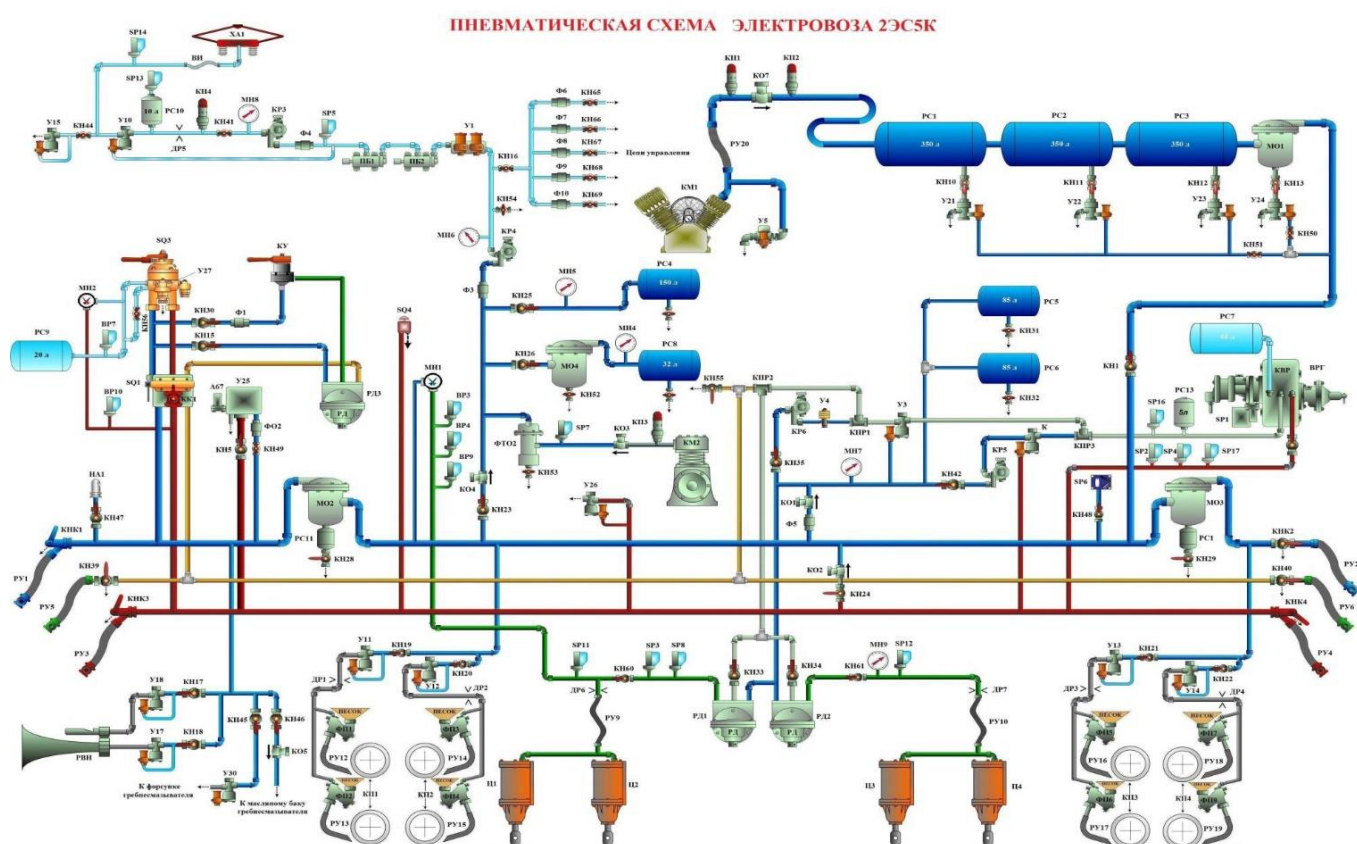


Рисунок 2.7.30 – Пневматическая схема электровоза 2ЭС5К с краном машиниста №395

Для снижения нагрузки на приводной электродвигатель компрессора при пуске на трубопроводе, со стороны компрессора установлен разгрузочный клапан У5.

Для исключения передачи вибрации от компрессора на трубопроводы, между ними установлен гибкий металлический рукав РУ20.

Выпадающий в главных резервуарах и маслоотделителе конденсат удаляют в атмосферу с помощью электропневматических клапанов У21, У22, У23, У24, управление которыми выведено на пульт машиниста. Разобшительные краны КН10, КН11, КН12 и КН13 установлены на случай выхода из строя соответствующего клапана продувки.

Для сбора масла и конденсирующейся в трубопроводах влаги на питательной магистрали перед краном машиниста SQ3 на обеих секциях электровоза установлены маслоотделитель MO2 с резервуаром PC11.

Для уменьшения количества влаги и масла, попадающих в межсекционные соединения, на питательной магистрали установлен маслоотделитель MO3. Краны КН28, КН29 предназначены для периодического удаления конденсата.

По обоим концам секции питательная магистраль оканчивается соединительными рукавами РУ1 и РУ2, которые могут быть использованы для зарядки пневматической системы электровоза сжатым воздухом от постороннего источника. По концам секции тормозная магистраль оканчивается рукавами РУ3 и РУ4.

Для подъема токоприемника при отсутствии запаса сжатого воздуха на секциях электровоза установлен вспомогательный компрессор КМ2 с питанием электродвигателя от аккумуляторной батареи. Сжатый воздух, поступающий от вспомогательного компрессора, очищается в маслоотделителе MO4. Установленный на нем кран КН53 служит для периодического удаления конденсата. Компрессор защищен от противодействия клапаном КО3, а от работы при повышенном давлении, в случае не отключения его вручную или датчиком-реле давления SP7 – предохранительным клапаном КП3, отрегулированным на срабатывание при давлении 7,0 кгс/см². Назначение датчика-реле давления SP7 – автоматическое отключение приводного двигателя вспомогательного компрессора при достижении давления в системе 7,0 кгс/см².

Для контроля давления сжатого воздуха в питательной и тормозной магистралях, в уравнительном резервуаре и тормозных цилиндрах крайних тележек на пультах машиниста установлены двухстрелочные манометры МН1, МН2.

Для осуществления торможения экстренным темпом при возникновении аварийной ситуации предусмотрен клапан аварийно-экстренного торможения SQ4. Клапан установлен на посту помощника машиниста. При нажатии на кнопку клапана происходит сообщение тормозной магистрали с атмосферой, подается сигнал на снятие тяги, включение подсыпки песка под колесные пары и включение тифона.

Исполнительным органом автоматического пневматического тормоза является воздухо-распределитель ВРГ, а управляющим – кран машиниста SQ3 №395.

Автоматический тормоз срабатывает при разрядке тормозной магистрали, осуществляемой с поста управления в кабине электровоза, переводом ручки крана машиниста в тормозное положение, при разрыве поезда или при срабатывании электропневматического клапана автостопа У25. Величина давления в тормозных цилиндрах зависит от величины разрядки тормозной магистрали.

Для обеспечения плавности срабатывания тормозов путем увеличения времени наполнения объема магистрали между воздухо-распределителем ВРГ и реле давления РД1 и РД2 установлен резервуар PC13 объемом 5 л.

На кране машиниста SQ3 установлен микровыключатель, обеспечивающий при постановке ручки крана в VI положение, разбор электрической схемы тягового режима, автоматическую подсыпку песка под все нечетные по ходу движения колесные пары и включение звукового сигнала низкого тона (тифона).

При снижении давления в тормозной магистрали воздухо-распределитель ВРГ срабатывает и сжатый воздух из резервуара PC7 через клапаны КПП3, КПП1 и КПП2 поступает в управляющие полости реле давлений РД1 и РД2. Далее реле давления РД1 и РД2 срабатывают и открывают проход сжатого воздуха из резервуаров PC5 и PC6 в тормозные цилиндры Ц1-Ц4. Резервуары защищены обратным клапаном КО1 от соединения с атмосферой и потери запаса сжатого воздуха при разрыве межсекционных соединений или при других нарушениях целостности в питательной магистрали. При необходимости отключения реле давления или тележек используют разобщительные краны КН60 и КН61.

Разобщительные краны КН33 и КН34 предназначены для отключения вышедших из строя реле давления РД1 и РД2. Кранами КН60 и КН61 можно отключить неисправную тележку с одновременным выпуском сжатого воздуха из тормозных цилиндров.

Зарядка тормозной магистрали происходит из питательной магистрали через кран машиниста SQ3 установкой ручки крана №395 во II положение.

Отпуск автоматического тормоза производится повышением давления в тормозной магистрали при переводе ручки крана машиниста во II положение, что приводит к переходу воздухораспределителя ВРГ в отпускное положение. При этом сжатый воздух из управляющих полостей реле давлений РД1 и РД2 выходит в атмосферу через воздухораспределитель ВРГ, а из тормозных цилиндров – через реле давления РД1 и РД2.

Схемой предусмотрена возможность отпуска автоматического тормоза электровоза, без отпуска тормозов состава. Для этого необходимо после автоматического торможения, разрядкой тормозной магистрали до $4,0 \text{ кгс/см}^2$, включить кнопку «Отпуск тормоза». При этом получает питание электроблокировочный клапан У3, который открывает выход сжатого воздуха в атмосферу из управляющих камер реле давлений РД1 и РД2. Далее, реле давления срабатывают и выпускают сжатый воздух из тормозных цилиндров в атмосферу. Происходит отпуск тормоза только на электровозе.

В том случае, если отпуск тормоза осуществляется после служебного торможения, электрической схемой предусмотрено (с помощью сигнализатора SP16) поддержание клапана У3 во включенном состоянии независимо от нажатия кнопки до тех пор, пока не будет отпущен тормоз состава путем повышения давления в тормозной магистрали. Восстановление давления в тормозной магистрали поезда ведет к переходу воздухораспределителя ВРГ в режим отпущения.

После этого система переходит в состояние готовности торможения электровоза при приведении в действие автоматического тормоза, о чем будет свидетельствовать не горящая лампа Н5.

Для отпуска тормозов при разрыве межсекционного соединения или после экстренного торможения необходимо нажать кнопку «Отпуск тормоза» и не отпускать её. При этом подается напряжение на электроблокировочный клапан У3, воздух из тормозных цилиндров выходит в атмосферу описанным выше путем. При возвращении кнопки в исходное состояние давление в тормозных цилиндрах восстанавливается до первоначального (этот режим обеспечивается с помощью сигнализатора SP17).

Учитывая, что при движении грузовых поездов воздухораспределитель ВРГ электровоза может находиться в режимах пониженного давления в тормозных цилиндрах (порожний, средний) схемой предусмотрено наполнение тормозных цилиндров до полного давления по отдельной цепи при экстренном торможении, при разрыве межсекционного соединения и других неисправностях в поезде. При этом клапан К при понижении давления в тормозной магистрали открывает проход сжатого воздуха через редуктор КР5 через переключательные клапаны КПР3, КПР1 и КПР2 в тормозные цилиндры описанным выше путем.

Во избежание движения электровоза при не полностью выпущенном сжатом воздухе из тормозных цилиндров предусмотрена световая сигнализация на пульте машиниста об остаточном давлении (не отпуск тормоза) хотя бы в одной тележке. Сигнальная лампа горит до понижения давления в цилиндрах ниже $0,3 \text{ кгс/см}^2 \pm 0,1 \text{ кгс/см}^2$. Функции датчика давления выполняют пневматические выключатели управления SP11 и SP12.

Для обеспечения возможности подтормаживания электровоза при движении в режиме рекуперативного торможения предусмотрена допустимость совместного действия электрического и пневматического тормоза. При этом, если давление в тормозных цилиндрах превысит величину $1,4 \text{ кгс/см}^2 \pm 0,1 \text{ кгс/см}^2$ электрический тормоз автоматически отключается. Функции датчика давления в этой ситуации выполняет пневматический выключатель управления SP3.

Электровоз оборудован устройством автоматического торможения при проезде запрещающих сигналов светофора. Для этого в схему включен электропневматический клапан автостопа У25. Клапан обеспечивает сброс сжатого воздуха из тормозной магистрали при нарушении правил проезда сигналов светофора темпом экстренного торможения, что ведет к срабатыванию автоматических пневматических тормозов.

Вспомогательный тормоз применяется при следовании одиночного электровоза, маневровой работе, сжатии состава.

При переводе ручки крана вспомогательного тормоза КУ в тормозное положение срабатывает реле давления РД3. Сжатый воздух из питательной магистрали через разобщительный кран КН15 и реле давления РД3 поступает в магистраль вспомогательного тормоза, далее через переключательный клапан КПП2 поступает в управляющие полости реле давления РД1 и РД2. При этом реле срабатывают и открывают проход сжатого воздуха из резервуаров РС5 и РС6 в тормозные цилиндры Ц1-Ц4.

Отпуск вспомогательного тормоза производится переводом ручки крана КУ в I положение. При этом сжатый воздух из управляющей полости реле РД3 через кран КУ, выходит в атмосферу, а сжатый воздух из управляющих камер реле давлений РД1, РД2 через реле давления РД3. В результате реле давления РД1 и РД2 переходят в положение, соединяющее тормозные цилиндры Ц1-Ц4 с атмосферой.

Электровоз оборудован устройством блокировки тормозов SQ1, которое обеспечивает правильное включение тормозной системы при смене кабин управления, а также исключение возможности приведения в движение электровоза из нерабочей кабины.

При смене кабин управления, для того, чтобы снять ручку, необходимо привести в действие автоматический тормоз поворотом ручки крана машиниста SQ3 в VI положение с полной разрядкой тормозной магистрали. Ручку крана вспомогательного тормоза КУ необходимо установить в V положение. Затем перевести устройство блокировки тормозов в нерабочее положение. При этом происходит разрыв электрических цепей управления электровозом, что исключает возможность приведения его в движение. После смены кабины управления ручку блокировки установить на вал блокировки в управляемой кабине и перевести ручку блокировки в рабочее положение. При этом электрические цепи управления замыкаются, а тормозная магистраль заполняется переводом ручки крана машиниста SQ3 во II положение. Затем ручку крана вспомогательного тормоза КУ необходимо установить в I положение.

В устройстве блокировки тормозов размещен комбинированный кран КК1, позволяющий производить экстренное торможение из нерабочей кабины, для чего его ручку необходимо повернуть вправо до упора.

Для обеспечения работы автоматического тормоза электровоза в режиме движения в недействующем состоянии предусмотрена цепь наполнения питательной магистрали и запасных резервуаров РС5 и РС6 из тормозной магистрали. С целью исключения обратного перетекания сжатого воздуха – из питательной магистрали в тормозную – установлен обратный клапан КО2. Цепь отключается разобщительным краном КН24.

С целью исключения наполнения тормозных цилиндров повышенным давлением при транспортировании в недействующем состоянии в блоке пневматического оборудования установлен кран КН42, который на период транспортирования должен быть закрыт.

Разобщительный кран КН1 необходим для отключения питательной магистрали секции при повреждениях в цепи «Компрессор КМ1-питательная магистраль».

Совместное действие электрического и пневматического тормозов недопустимо, из-за возможного юза колесных пар, вследствие большого тормозного усилия. Поэтому схема автоматически устанавливает только один вид торможения: электрический или пневматический. Это обеспечивает электропневматический клапан У3 и пневматический выключатель управления SP4.

При действии автоматического пневматического тормоза на катушке вентиля клапана У3 отсутствует напряжение, и он пропускает воздух от воздухораспределителя ВРГ к тормозным цилиндрам. В момент перехода на электрическое торможение на катушку вентиля У3 подается напряжение. Клапан перекрывает проход воздуха через клапан КПП1 и одновременно сообщает с атмосферой магистраль между клапанами КПП1, КПП2 и реле давления РД1, РД2, что приводит к отпуску пневматического тормоза. Возможность торможения состава пневматическим тормозом при электрическом торможении электровоза сохраняется. В случае приведения в действие автоматического пневматического тормоза, когда давление в тормозной магистрали снизится до величины от 2,9 до 2,7 кгс/см², электрическое торможение автоматически отключается выключателем SP4, который одновременно снимает напряжение с катушки вентиля клапана У3, в результате чего клапан У3 пропускает сжатый воздух к реле-давления. Происходит процесс пневматического торможения и разбор тягового режима.

Сжатый воздух на электровозе используют также для работы системы смазки гребней, подачи звуковых сигналов, работы главного выключателя, аппаратов цепей управления и токоприемников, а также для подсыпки песка под колесные пары.

Система смазывания гребней установлена на 1-ой по ходу движения колесной паре. Сжатый воздух в систему поступает через электромагнитный вентиль У30 и непосредственно к масляному баку. Краны КН45 и КН46 постоянно открыты и перекрываются только в случае выхода из строя гребнесмазывателей.

Звуковыми сигналами являются тифон и свисток, установленные на едином кронштейне – РВН. Управление сигналами – электропневматическое. Тифон управляется клапаном У17, свисток – клапаном У18. При выходе из строя клапанов они могут быть отключены разобщительными кранами КН17 и КН18.

Для работы аппаратов цепей управления и цепей блокирования высоковольтной камеры давление сжатого воздуха понижается в редукторе КР4 до 5,0 кгс/см². Предусмотрена возможность отключения любого вышедшего из строя аппарата кранами КН55...КН59.

Для обеспечения подъема токоприемника давление сжатого воздуха понижается редуктором КР3 до 3,5 кгс/см². Управление подъемом и опусканием токоприемника осуществляется клапаном У10. С целью обеспечения устойчивой работы токоприемника установлен резервуар РС10 объемом 10 литров и дроссельное устройство ДР5. Клапан предохранительный КПП4, настроенный на давление срабатывания 4,0 кгс/см², защищает токоприемник от перегрузок при его перемещениях или неисправности редуктора КР3. Воздухопровод ВИ – изоляционное устройство, разъединяющее токоприемник от земли. Материал воздухопровода – фторопласт.

Для стабилизации величины нажатия полоза токоприемника на контактный провод, при прохождении участков с меняющейся высотой контактного провода, в системе питания токоприемника установлены сигнализаторы давления SP23 и SP24 и устройство пневматическое У31.

После подачи напряжения на клапан токоприемника У10 воздух из буферного резервуара РС9 и через калибровочный клапан ДР5 со стороны редуктора КР3 поступает в баллон токоприемника. При достижении необходимого давления в баллоне токоприемник поднимается. Время подъема токоприемника регулируется с помощью клапана ДР5. Контакт сигнализатора давления SP23 разомкнут, при этом устройство пневматическое У31 закрыто.

Для обеспечения подъема токоприемника без включения вспомогательного компрессора предусмотрено сохранение запаса сжатого воздуха в резервуаре РС4. Для увеличения сцепления колеса с рельсом служит система, осуществляющая подачу песка в зону контакта колеса с рельсом с помощью форсунок ФП1...ФП8. Работой форсунок управляют электропневматические клапаны У11...У14. Подсыпка песка производится под первую, третью, пятую и седьмую колесные пары по ходу движения электровоза. Автоматическая подсыпка песка производится (срабатыванием электропневматических клапанов У11...У14 по сигналу пневматического выключателя управления SP8) при экстренном торможении, когда ручка крана

машиниста находится в 6 положении, а также при возникновении буксования или юза колесной пары. При скорости движения ниже 10 км/час подсыпка песка прекращается.

Для гибкой связи пескопровода, расположенного на кузове и тележках, применены резиновые рукава РУ12...РУ19.

Кран КН54 служит для отбора сжатого воздуха на обдув помещения или ходовых частей. Давление можно регулировать редуктором КР4.

Раздел III. ДИНАМИКА ПНЕВМОПРИВОДОВ

Тема 3.1 Динамический анализ пневмоприводов

ИСТЕЧЕНИЕ ГАЗА ИЗ НЕОГРАНИЧЕННОГО ОБЪЕМА

Параметры состояния газа однозначно связаны между собой уравнением состояния. При рассмотрении процессов принято уравнение состояния Менделеева-Клапейрона. Теплоемкость газа зависит от температуры. Однако в пневмоприводах колебания температуры воздуха относительно невелики, поэтому в первом приближении можем считать теплоемкость при изменении температуры постоянной. Важным параметром в термодинамике является внутренняя энергия газа. Внутренняя энергия идеального газа U складывается из кинетической энергии внутримолекулярных колебаний. Удельная внутренняя энергия u представляет собой внутреннюю энергию единицы веса вещества.

Изменение внутренней энергии зависит только от температуры, т.е. она является функцией температуры. Истечение газа из резервуара, который имеет практически постоянные параметры сжатого воздуха, в общем случае является неустановившимся процессом. Установившимся движением газа называют такое движение газа, когда его скорость в каждой точке потока определяется только ее координатами и не зависит от времени. Это идеализированный процесс, так как в действительности скорость при движении газа зависит от перепада давлений, а величина давления зависит от времени наполнения газом объема полости или трубопровода, от инерционности столба газа, от количества поступающего газа, которое является функцией времени, и других факторов. Однако с целью упрощения расчетов в ряде случаев движение газа принимают установившимся, подчиняющимся уравнению Бернулли.

Обычно при расчетах процесс истечения рассматривают как адиабатический, а потери на трение и другие потери давления учитывают коэффициентом расхода μ . Под коэффициентом расхода в термодинамике обычно понимают произведение коэффициента скорости, учитывающего потери на трение, и коэффициента сжатия, учитывающего уменьшение поперечного сечения струи при истечении. Однако на практике под коэффициентом расхода понимают отношение действительного расхода при истечении к теоретическому. Таким образом, с помощью коэффициента расхода учитываются многие факторы, не всегда поддающиеся точному расчету.

В теме 1.1 рассмотрено выражение по определению расхода воздуха при его истечении из неограниченного объема.

Для адиабатических процессов также используют следующую формулу расхода:

$$G_m = \mu \cdot f \sqrt{\frac{2gk}{(k-1)} \cdot \frac{p_m}{v_m} \left[\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (3.1)$$

На рис. 3.1.1 изображен график зависимости переменной части $\varphi(\sigma) = \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}}$ расхода G от отношения давлений σ .

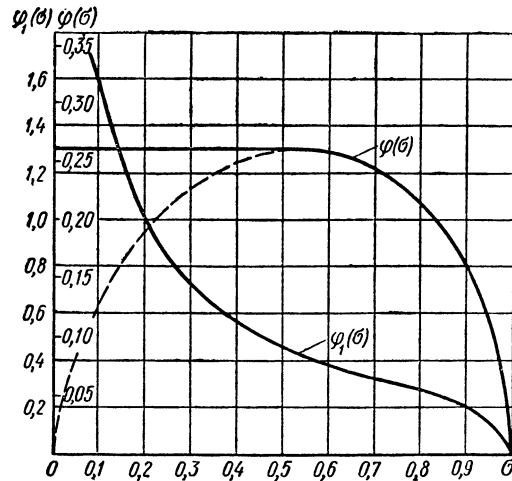


Рисунок 3.1.1 – Зависимость функции переменной части расхода от соотношения давлений

Сен-Венан и Ванцель показали, что штрих-пунктирная ветвь кривой изменения расхода не является действительной. Очевидно, что при $\sigma = 0$ (что соответствует истечению газа в вакуум) расход G не может быть равен нулю, наоборот, он будет максимальным. Действительно, как показывает практика, при постоянном давлении в ресивере и значениях отношения давлений меньше σ^* расход остается постоянным и равным критическому (см. горизонтальную линию на рис. 3.1.1).

$$\text{При } k=1,4 \text{ (воздух)} \left(\frac{P_{2кр}}{P_1} \right) \approx 0,528 = \sigma^*$$

Критический расход соответствует установлению скорости звука в устье трубы. Это максимальная скорость, с которой газ может вытекать из насадка, если не применять специальных приспособлений. Как известно, с помощью сопла Лавала можно получить сверхзвуковые скорости истечения, однако этот вопрос здесь не рассматривается.

ПРИВОДЫ, НАГРУЖЕННЫЕ ПОСТОЯННЫМИ СИЛАМИ АНАЛИЗ ЦИКЛОГРАММЫ ТИПОВОГО ПНЕВМОПРИВОДА

Циклограмма простого привода двустороннего действия изображена на рис. 3.1.2.

Для наглядности в нее кроме интервалов времени перемещения и остановки поршня (или центра мембраны) включены также интервалы времени изменения давления в обеих полостях рабочего цилиндра. Они представлены в виде диаграмм, помещенных ниже обычной циклограммы перемещение–время.

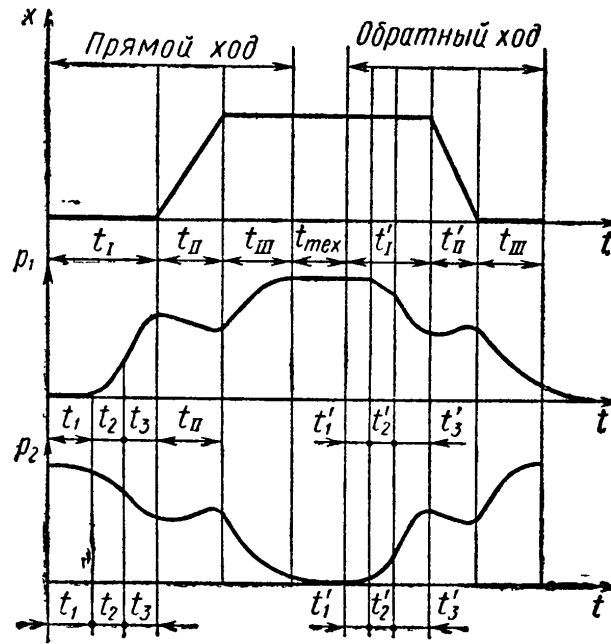


Рисунок 3.1.2 – Циклограмма пневмопривода двустороннего действия

Анализ циклограммы пневмопривода начнем с момента включения управляющего устройства (в данном случае конечного выключателя), из которого выходной сигнал в виде давления сжатого воздуха поступает на вход распределителя.

После срабатывания распределителя воздух из магистрали подается по трубопроводу в полость рабочего цилиндра. Движение сжатого воздуха начинается тотчас же после момента начала открывания отверстия в распределителе. Некоторый период времени оба процесса (открывание отверстия распределителя и распространение волны давления сжатого воздуха до рабочего цилиндра) происходят одновременно и заканчиваются в разные моменты времени. Для упрощения задачи предположим, что волна давления возникает после полного открытия отверстия. При таком допущении не вносится большая погрешность, так как время открытия распределителя у большинства пневмоприводов невелико по сравнению с временем всего рабочего цикла. Вместе с тем указанное допущение позволяет отдельно определять интервалы времени этих процессов:

t_1 – время открытия распределителя и t_2 – время распространения волны давления от распределителя до цилиндра.

При повышенных требованиях к точности расчета следует определять оба интервала времени. Кривые давления на циклограмме отражают действительные процессы, так, например, давление в рабочей полости начинает увеличиваться в период открытия распределителя и т.д.

Горизонтальные прямые на верхней диаграмме (см. рис. 3.1.2) показывают интервалы времени выстоев поршня, а наклонные – интервалы времени его движения. Кривые на нижних диаграммах отражают процессы изменения давления p_1 и p_2 воздуха соответственно в полостях наполнения и опораживания. Как уже указывалось выше, давление в рабочей полости начинает увеличиваться вскоре после открытия распределителя и этот процесс продолжается до начала движения поршня (интервал времени t_3). В этот же период времени давление во второй полости уменьшается. Сумма перечисленных интервалов составляет время выстоя поршня t_I до начала его перемещения.

В период движения поршня (интервал t_{II}) давление может монотонно увеличиваться (уменьшаться) или колебаться в зависимости от соотношения конструктивных параметров устройства. После того как поршень закончит рабочий ход, давление в полости, соединенной с магистралью, увеличивается до значения, требуемого технологическим процессом (интервал

t_{III}). Во второй полости давление уменьшается почти до атмосферного. Моменты окончания этих процессов в общем случае не совпадают. После выполнения заданной технологической операции управляющее устройство снова переключается (время технологической операции $t_{тех}$ не рассматривается).

Тогда в той же последовательности начинается обратный ход поршня, причем функции полостей исполнительного устройства меняются.

Рабочей полостью назовем полость, соединенную в данный момент с магистралью, причем в этой полости давление сжатого воздуха является движущей силой.

Выхлопной полостью назовем полость, соединенную с атмосферой, причем давление воздуха в этой полости оказывает противодействие перемещению поршня. Одна и та же полость привода в различные моменты времени может быть то рабочей, то выхлопной, например, при прямом и обратном ходе. Однако такое деление полостей удобно для анализа работы привода и его расчета.

Иногда рабочую и выхлопную полости называют полостями соответственно наполнения и опораживания, но эти названия справедливы не во всех случаях. Например, при соединении проточной полости с магистралью не всегда можно установить, наполняется она или опораживается.

Рабочим циклом привода назовем такой период его работы, после которого все элементы привода возвращаются в исходное положение.

Время рабочего цикла $T_{ц}$ привода состоит из суммы интервалов времени прямого $T_{п.х}$ и обратного $T_{о.х}$ ходов. Каждый из этих интервалов разделяется на следующие три интервала: t_I – время подготовительного периода – от начала переключения управляющего устройства до начала движения поршня; t_{II} – время движения поршня, в течение которого поршень пройдет весь заданный рабочий ход; t_{III} – время заключительного периода, в течение которого давление в рабочей полости увеличивается до требуемой величины.

Назовем *временем срабатывания* привода время перемещения поршня только в одном направлении, когда осуществляется либо рабочий, либо холостой ход. При расчете дискретного привода нужно иметь в виду, что нагрузка при рабочем ходе может значительно отличаться от нагрузки при холостом ходе. В одностороннем приводе меняется не только величина, но и характер нагрузки: рабочий ход происходит под действием сжатого воздуха, а холостой – под действием силы тяжести или пружины. Поэтому интервалы времени срабатывания привода при рабочем и холостом ходе будут определяться для различных значений нагрузки.

В случае непрерывно вращающегося привода время срабатывания будет совпадать со временем рабочего цикла.

Время подготовительного и заключительного периодов складывается соответственно из следующих интервалов: t_I – времени срабатывания распределителя; t_2 – времени распространения волны давления от распределителя до цилиндра; t_3 – времени изменения давлений в полостях цилиндра до начала движения поршня.

В зависимости от функционального назначения привода те или иные интервалы времени в циклограмме оказываются наиболее существенными. В некоторых случаях (например, в тормозных устройствах поездов или при работе во вредных средах) устройства управления находятся на значительном расстоянии от распределителя, и время срабатывания последнего необходимо учитывать, так как оно включает время движения воздуха по длинному трубопроводу (длиной до нескольких десятков метров) от управляющего устройства до распределителя. Время t_I подготовительного периода может оказаться большим по сравнению с другими интервалами времени.

В транспортирующих приводах наиболее существенно время движения t_{II} поршня, В зажимных устройствах наиболее значительным оказывается время t_{III} нарастания давления до заданной величины.

В тех случаях, когда привод состоит из нескольких исполнительных устройств, его циклограмму строят в заданной последовательности их действия, а время работы привода находят после определения времени рабочего цикла каждого исполнительного устройства в отдельности.

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАБОТЫ ПНЕВМОПРИВОДА

Динамический расчет привода заключается в определении времени его рабочего цикла, т.е. в последовательном нахождении отдельных интервалов времени циклограммы. Время срабатывания пневмораспределителя t_1 определяют в зависимости от его конструкции. Оно может быть найдено, как время движения золотника распределителя под действием пружины, электромагнита и др. В большинстве случаев временем срабатывания распределителя в обычных условиях можно пренебречь как величиной незначительной по сравнению со временем рабочего цикла.

Время распространения волны давления от распределителя до рабочего пневмоцилиндра определяем по известной формуле.

$$t_2 = \frac{L_T}{a} \quad (3.2)$$

где L_T – длина трубопровода от распределителя до цилиндра,

a – скорость распространения звука в воздухе, которая при $T=290$ К равна 341 м/с.

При наполнении сжатым воздухом начального объема рабочей полости примем его давление на входе постоянным и равным магистральному, а потери давления на трение при течении воздуха по пневмолинии учтем посредством коэффициента расхода μ .

Такое допущение позволяет заменить процесс течения воздуха по трубопроводу процессом наполнения сжатым воздухом постоянного объема, эквивалентному объему трубопровода, а погрешности, получающиеся при этом, учесть коэффициентом расхода.

Подготовительный период охватывает интервал времени, когда в рабочей полости давление возрастает, а в выхлопной уменьшается, причем эти процессы протекают до тех пор, пока в обеих полостях установится перепад давлений, при котором движущая сила преодолет силы сопротивления и поршень сдвинется с места. Следовательно, нужно определить время наполнения рабочей полости и время истечения сжатого воздуха из выхлопной полости до установления требуемого перепада давления.

За расчетное значение t , принимаем наибольшее из полученных.

Время наполнения сжатым воздухом рабочей полости определяется по уравнению

$$t_3 = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{V_{01}}{\mu f} [\psi_i(\sigma_2) - \psi_i(\sigma_1)] \quad (3.3)$$

где: V_{01} – начальный объем рабочей полости и трубопровода, соединяющего ее с распределителем в м^3 ;

μ – коэффициент расхода пневмолинии;

f – площадь поперечного сечения пневмолинии в м^2 ;

$\sigma_1 = \frac{P_1}{P_m}$ и $\sigma_2 = \frac{P_2}{P_m}$ – начальное и конечное давление в рабочей полости.

В начале процесса давление в рабочей полости атмосферное, т.е.:

$$\sigma_1 = \frac{P_a}{P_m} = \sigma_a \quad (3.4)$$

Время истечения сжатого воздуха из выхлопной полости определяется по уравнению:

$$t_a = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{V_0}{\mu_0 f_0 \sigma_0^{k-1/2k}} [\psi_2(\sigma_{e2}) - \psi_2(\sigma_{e1})] \quad (3.5)$$

где: V_0 – объем выхлопной полости в момент начала движения поршня.

$$\sigma_{e1} = \frac{P_a}{P_{e1}}; \quad \sigma_{e2} = \frac{P_a}{P_{e2}} \quad \text{– начальное и конечное давление в выхлопной полости.}$$

В уравнении (3.5) всем параметрам присвоен индекс «в» – выхлопная полость.

Значения функций $\psi_1(\sigma)$ и $\psi_2(\sigma)$ находим на графике, приведенном на рис. 3.1.3.

Давление в начале процесса истечения в выхлопной полости обычно равно магистральному, т.е.

$$\sigma_1 = \frac{P_a}{P_m} = \sigma_a$$

Чтобы произвести расчет по формулам, необходимо предварительно найти давление $\sigma_2 = \sigma_q$ и $\sigma_{e2} = \sigma_{eq}$ в обеих полостях пневмоцилиндра в момент начала движения поршня.

С этой целью следует воспользоваться номограммой (рис. 3.1.3). Посредством этой номограммы могут быть легко найдены давления в обеих полостях пневмоцилиндра в момент начала движения поршня. Так как номограмма построена в безразмерной форме, то предварительно должна быть определена нагрузка χ которая представляет собой отношение результирующей сил, действующих на поршень к максимально возможной силе развиваемой приводом $P_m F$ т.е.

$$\chi = \frac{P}{P_m F} \quad (3.6)$$

где F – площадь поршня.

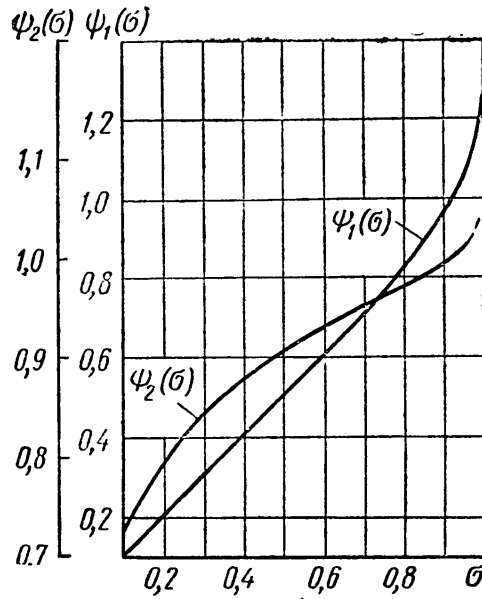


Рисунок 3.1.3 – График для определения функций $\psi_1(\sigma)$ и $\psi_2(\sigma)$.

Затем определяем величину

$$v = \frac{V_0}{V_6} \Omega \quad (3.7)$$

где

$$\Omega = \frac{\mu_6 f_6}{\mu f} = \frac{f_6^3}{f^3} \quad (3.8)$$

Номограмма (рис. 3.1.4) построена для значений $\sigma_в=0,2$ ($P_м=0,3$ МПа) и безразмерной площади пневмоцилиндра

$$П_{2,1} = \frac{F_2}{F_1} = 1$$

где F_1, F_2 площади поршня обоих его торцов.

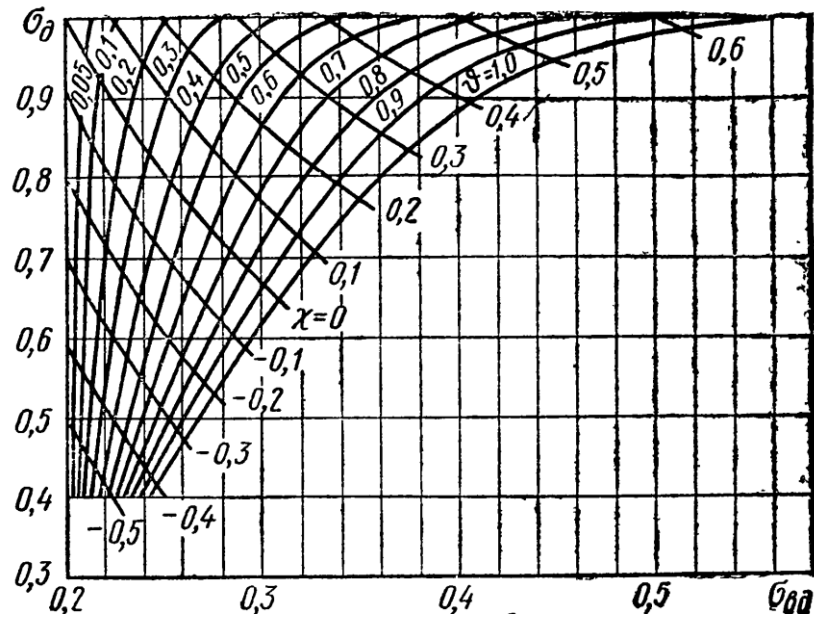


Рисунок 3.1.4 – Номограмма распределения безразмерных давлений в зависимости от безразмерной нагрузки

При других значениях этих величин, например, наличие штока, следует вносить поправочные коэффициенты.

Величины практически мало зависят от P_m и при давлениях $0,3 \div 1$ МПа может определяться по указанной номограмме (рис. 3.1.4). Величину находим пересчетом значения, взятого из графика, на новое значение давления P_m по приближенной формуле:

$$\sigma_{\text{в}q} = \sigma_{\text{в}q}^s \frac{0,5}{P_m}$$

(3.9)

где P_m необходимо брать в МПа.

При отклонении от единицы, в значения безразмерных давлений вносятся следующие поправочные коэффициенты:

$$\sigma_q = \sigma_q^1 \pm 0,5\beta$$

(3.10)

$$\sigma_{\text{в}q} = \sigma_{\text{в}q}^1 \pm 0,1\beta$$

где σ_q^1 и $\sigma_{\text{в}q}^1$ - давление при $\Pi_{2,1}=1$; β – отклонение $\Pi_{2,1}$ от единицы.

Знак поправочного коэффициента совпадает со знаком отклонения.

ПЕРИОД ДВИЖЕНИЯ ПОРШНЯ

Так как в общем случае в пневмоприводе может быть несколько полостей, то в дальнейшем полости будем нумеровать, индексы параметров будут соответствовать нумерации полостей. На рис. 3.1.5 первая полость является рабочей, а вторая – выхлопной.

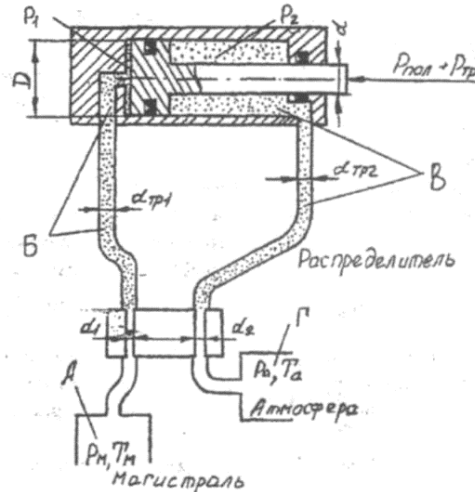


Рисунок 3.1.5 – Расчетная схема двухстороннего возвратно-поступательного движения

Уравнение движения поршня двухстороннего типового пневмопривода (рис. 3.1.5) имеет следующий вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = P_1 F_1 - P_2 F_2 - P \quad (3.11)$$

где

m – масса привода и присоединенных к нему поступательно движущихся частей;

x – координата перемещения поршня;

P_1, P_2 – давление воздуха в первой и второй полостях (полости Б и В);

P – сила сопротивления на штоке;

F_1, F_2 – площади торцев поршня.

Дифференциальное уравнение (3.11) должно быть решено совместно с уравнениями, характеризующими изменения давления в обеих полостях рабочего цилиндра. Эти уравнения получены без учета теплообмена с окружающей средой и при постоянных параметрах сжатого воздуха в магистрали.

Уравнение для определения давления P_1 в рабочей полости имеет вид:

$$\frac{dP_1}{dt} = \frac{k f_1^3 P_m \sqrt{RT_m}}{F_1 (x_{01} + x)} \varphi(\sigma_1) - \frac{k P_1 \cdot dx}{(x_{01} + x) dt} \quad (3.12)$$

где

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{P_m}; \quad K = \sqrt{\frac{2qk}{k-1}}; \quad x_{01} = \frac{V_{01}}{F_1};$$

$f_1^3 = \mu_1 f_1$ – эффективная площадь входного отверстия;

μ_1 – коэффициент расхода подводящей линии;

f_1 – площадь входного отверстия,

x_{01} – приведенная начальная координата положения поршня;

V_{01} – начальный объем рабочей полости.

В уравнении (3.11) значения функции расхода $\varphi(\sigma_1)$ равны:

$$\begin{cases} \varphi(\sigma) = \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}} & 0,528 < \sigma < 1 \\ \varphi(\sigma) = 0,2588 & \text{при } 0 < \sigma < 0,528 \end{cases} \quad (3.13)$$

При определении начальной координаты положения поршня необходимо учитывать не только начальный объем полости (вредное пространство), но и объем трубопровода от распределителя до рабочего цилиндра

Уравнение для определения давления P_2 в выхлопной полости [4] имеет вид:

$$\frac{dP_2}{dt} = - \frac{k f_2^3 K P_m^{\frac{3k-1}{2k}} \sqrt{RT_m}}{F_2 (L + x_{02} - x) P_m^{\frac{k-1}{2k}}} \varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right) + \frac{k P_2}{L + x_{02} - x} \frac{dx}{dt} \quad (3.14)$$

Значения функции расхода $\varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right)$ в уравнении (3.13) так же, как и в уравнении (3.12) равны

$$\varphi(\sigma) = \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}}$$

Совместное решение системы уравнений (3.11), (3.12), (3.13) возможно только с помощью численных методов интегрирования.

Шаг интегрирования выбирается в зависимости от требуемой точности расчета. Интегрирование продолжается до тех пор, пока, значение перемещения X поршня не станет равным рабочему ходу L . Время, соответствующее этому моменту, равно времени перемещения поршня.

Приведенную систему дифференциальных нелинейных уравнений 4-го порядка (3.11, 3.12, 3.13) целесообразно выразить в безразмерной форме, что дает возможность использовать одно решение для целой группы однотипных пневмоприводов. С учетом этого, введем следующие безразмерные переменные параметры:

$$\xi = \frac{X}{L}; \quad \sigma = \frac{P}{P_m}; \quad \tau = \frac{t}{t_m}$$

где

$$t_m = \frac{F \cdot L}{f^3 K \sqrt{RT_m}} \quad (3.15)$$

и безразмерные параметры:

$$\chi = \frac{P}{P_m F}; \quad \Omega = \frac{\mu_2 f_2}{\mu_1 f_1}; \quad N = \frac{f_1^3 K}{F_1} \sqrt{\frac{m RT_m}{P_m F \cdot L}}; \quad (3.16)$$

$$\xi_0 = \frac{X_0}{L}; \quad \Pi_{2,1} = \frac{F_2}{F_1}; \quad (3.17)$$

где N – постоянная величина характеризующая соотношение размеров и параметров данного привода;

ξ_0 – начальный объем полости;

$\Pi_{2,1}$ – отношение площадей торцов поршня.

Выразив действительные перемещения, через безразмерные и подставив полученные значения в уравнения (3.11), (3.12), (3.13) получим следующую систему безразмерных уравнений:

уравнение движения

$$\frac{d^2 \xi}{d\tau^2} = \frac{1}{N^2} (\sigma_1 - \Pi_{2,1} \sigma_2 - \chi) \quad (3.18)$$

уравнение давления в рабочей полости

$$\frac{d\sigma_1}{d\tau} = \frac{K}{\xi_{01} + \xi} \left[\varphi(\sigma_1) - \sigma_1 \frac{d\xi}{d\tau} \right] \quad (3.19)$$

уравнение давления в выхлопной полости

$$\frac{d\sigma_2}{d\tau} = \frac{k}{\xi_{02} + 1 - \xi} \left[\frac{\Omega}{\Pi_{2,1}} \sigma_2^{\frac{3k-1}{2k}} \cdot \varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right) - \sigma_2 \frac{d\xi}{d\tau} \right] \quad (3.20)$$

Систему нелинейных дифференциальных уравнений обычно решают одним из численных методов (Рунге-Куты, Адамса, Эйлера и др.).

Переход от безразмерных параметров к действительным осуществляется по формуле перехода:

$$t = 1,31 \cdot 10^{-3} \frac{LD^2}{\mu f} \tau \quad (3.21)$$

Указанная система уравнений (3.18, 3.19, 3.20) решена в институте машиноведения на ЭВМ для различных параметров пневматических приводов. В результате для разных N , Ω и χ получены значения σ , ξ и соответствующие им интервалы времени. На основании этих расчетов построены сводные графики (рис. 3.1.6, 3.1.7), с помощью которых можно рассчитать время движения поршня пневмопривода. В приведенных ниже сводных графиках в интервал времени t включается не только время перемещения поршня, но и время t_l подготовительного периода.

Зависимость времени срабатывания τ от конструктивного параметра N пневмопривода при ($\Omega \leq 1$) представлена на рис. 3.1.6.

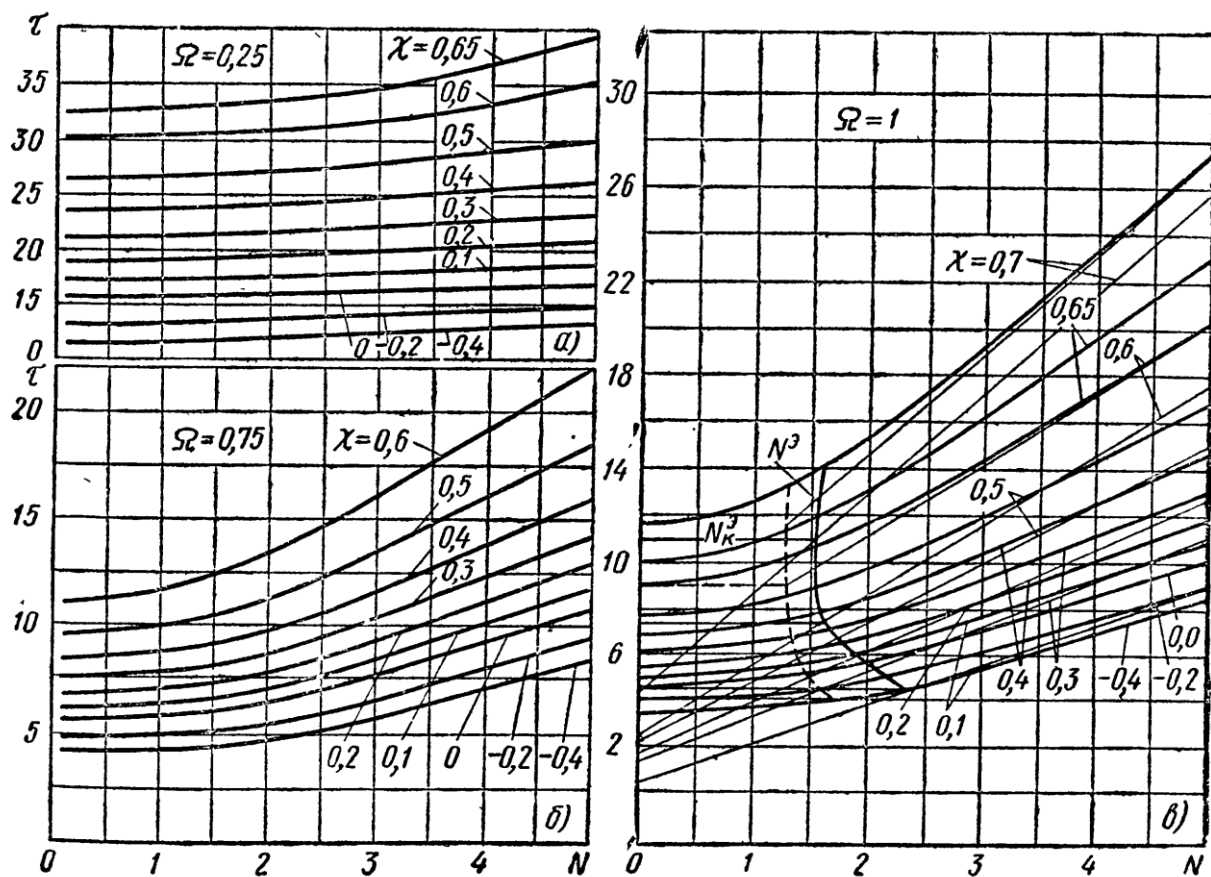


Рисунок 3.1.6 – Зависимость времени срабатывания τ от конструктивного параметра N пневмопривода ($\sigma_a=0,15-0,3$; $\xi_0 = 0,1-1,0$; $\Pi_{2,1} = 1$) при различных значениях коэффициента пропускной способности Ω ($\Omega \leq 1$).

Зависимость времени срабатывания τ от конструктивного параметра N пневмопривода при ($\Omega > 1$) представлена на рис. 3.1.7.

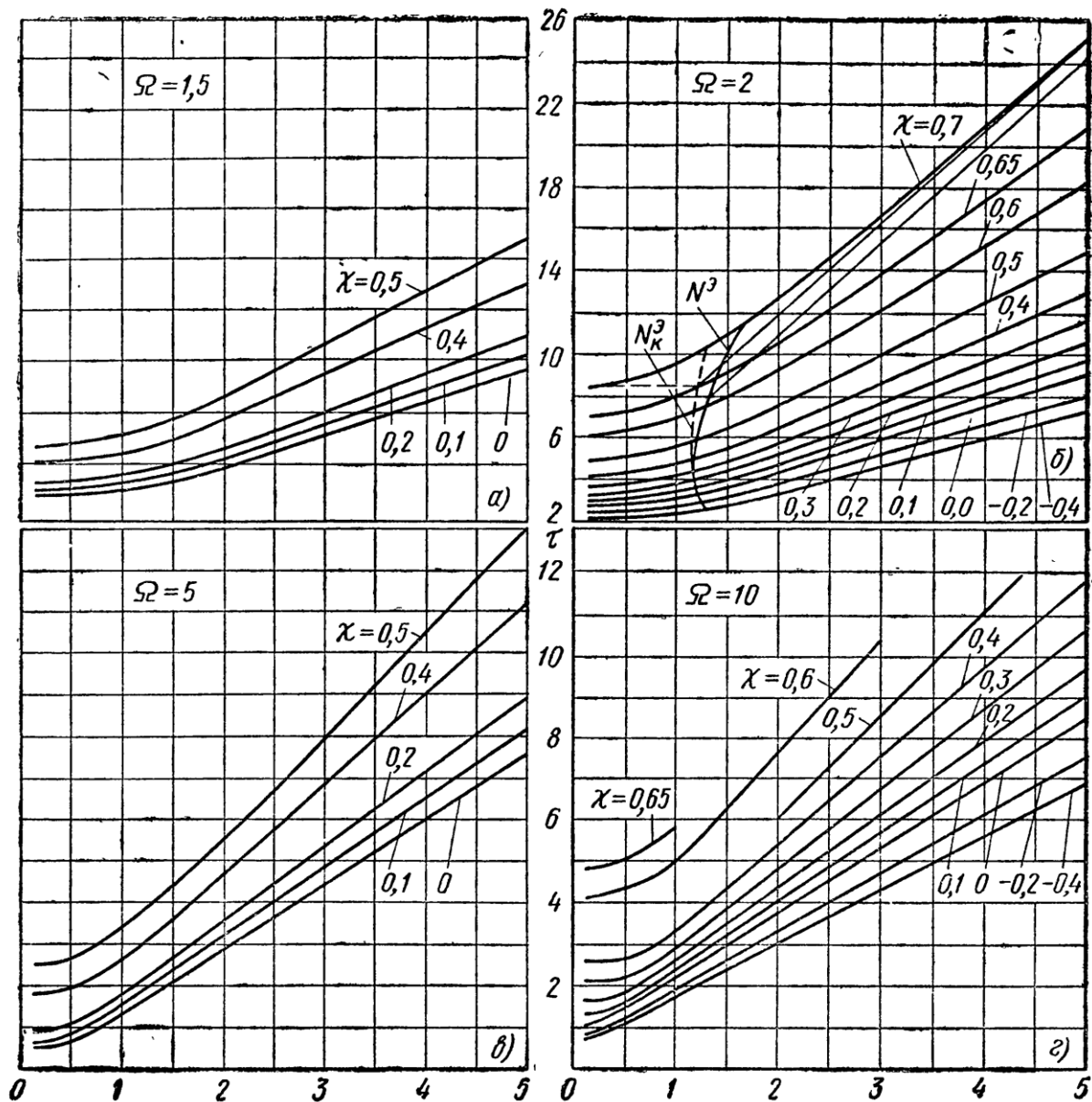


Рисунок 3.1.7 – Зависимость времени срабатывания τ от конструктивного параметра N пневмопривода ($\sigma_a=0,15-0,3$; $\xi_0 = 0,1-1,0$; $\Pi_{2,1} = 1$) при различных значениях коэффициента пропускной способности Ω ($\Omega > 1$).

Существует [4] следующий порядок расчета с помощью приведенных графиков. Сначала исходные физические параметры выражают в безразмерной форме. Затем по полученным безразмерным параметрам Ω , N и χ находят соответствующий график, по которому и определяют безразмерное время срабатывания τ и затем – действительное время t .

Изложим последовательность расчета:

Определяют безразмерную нагрузку χ , по формуле:

$$\chi = \frac{P}{0,785 P_m D^2} \quad (3.22)$$

Определяют безразмерный конструктивный параметр N по формуле:

$$N = 275,14 \frac{\mu_1 d_1^2}{D_1^3} \sqrt{\frac{P_m}{P_m L}} \quad (3.23)$$

где P_m – вес груза и всех поступательно движущихся частей.

Определяют безразмерный коэффициент Q , характеризующий пропускные способности подводящей и выхлопной линий привода по формуле:

$$\Omega = \frac{\mu_2 f_2}{\mu_1 f_1} \quad (3.24)$$

По полученному параметру Ω выбирают расчетный график. Если нет графика для данного значения Ω , то по двум ближайшим по значению Ω графикам производят интерполяцию.

Определяют приведенные начальные координаты положения поршня. Сначала вычисляют начальные объемы рабочей и выхлопной полостей с учетом объемов трубопроводов на участках труб от цилиндра до распределителя

$$V_{01} = V_{01}^1 + 0,785 d_1^2 l_1 \quad (3.25)$$

$$V_{02} = V_{02}^1 + 0,785 d_2^2 l_2$$

Затем определяют начальные координаты положения поршня:

$$\xi_{01} = 1,27 \frac{V_{01}}{D_1^2 L}, \quad \xi_{02} = 1,27 \frac{V_{02}}{D_1^2 L} \quad (3.26)$$

По этим параметрам так же проверяют расчетный график.

Выбирают график по значениям Ω , ξ_{01} , ξ_{02} , σ_a .

Определяют безразмерное время τ по выбранному графику по полученным значениям N и χ .

Определяют действительное время по формуле перехода:

$$t = 1,31 \cdot 10^{-3} \frac{LD^2}{\mu_1 d_1^2} \tau \quad (3.27)$$

ПРИВОДЫ, НАГРУЖЕННЫЕ ПЕРЕМЕННЫМИ СИЛАМИ

Переменной нагрузкой может служить сила сопротивления пружины, которая изменяется пропорционально перемещению. В некоторых случаях при выполнении технологических операций, например, при прессовании или транспортировке, силу сопротивления считают линейно изменяющейся в зависимости от перемещения поршня. Силу трения также иногда принимают как линейную функцию скорости. В общем случае пневмопривод, нагруженный переменными силами, как уже указывалось, бывает нагружен и постоянными силами. Поэтому будем считать, что нагрузка на привод состоит из двух частей: постоянной составляющей, характеризующейся, как это рассмотрено в предыдущей главе, значением результирующей P всех постоянных сил, действующих на пневмопривод, и из переменной составляющей, изменяющейся линейно, как функция перемещения x или скорости \dot{x} поршня, причем коэффициенты пропорциональности обозначим соответственно через c^n и c^c . Уравнение движения двустороннего пневмопривода под воздействием переменных сил запишем сначала в физических величинах:

$$m\ddot{x} = p_1F_1 - p_2F_2 - P - c^n x - c^c \dot{x} \quad (3.28)$$

Наличие двух последних членов характеризует переменную нагрузку. Уравнение (3.28) должно решаться совместно с уравнениями (3.12) и (3.14).

СЛОЖНЫЕ ПРИВОДЫ

С развитием автоматизации производственных процессов функции пневмоприводов и систем управления непрерывно усложняются, а вместе с тем и их конструкции становятся все более сложными, состоящими из большого числа разнообразных деталей, которые соединяются друг с другом самыми различными способами. Поэтому трудным является не только решение расчетных уравнений, но и процесс их составления.

Динамика исполнительных устройств привода описывается четырьмя уравнениями движения поршней, восемью уравнениями для определения давления в полостях цилиндров и таким же числом уравнений, характеризующих температуру воздуха в этих полостях.

Таким образом, для решения задачи анализа этого привода необходимо составить и увязать между собой 20 нелинейных дифференциальных уравнений. Математическое описание динамики таких и более сложных приводов является трудоемким и громоздким. Пневмопривод разбивают на самые элементарные части, т.е. на полости и подвижные детали. Динамика каждой элементарной части описывается значительно меньшим числом уравнений, чем приведенные выше типы устройств. Так, например, для каждого поршня составляют одно уравнение движения, а для полости – два уравнения: для определения давления сжатого воздуха и его температуры. В этом случае число типов уравнений уменьшается и соответственно расширяются возможности формализации.

Каждое из этих уравнений должно быть записано в общем виде с тем, чтобы из него можно было получить частные случаи для описания конкретных элементов и условий их работы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИВОДА ДВУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ

Рассмотрим осциллограммы и процессы, полученные при экспериментальном исследовании привода двустороннего действия. Общий вид изменения давления в полостях пневмоцилиндра показан на рис. 3.1.8.

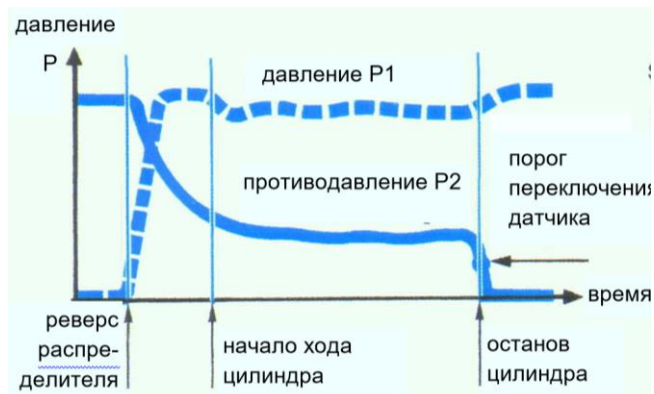


Рисунок 3.1.8 – Общий вид изменения давления в полостях пневмоцилиндра

На рис. 3.1.9 представлена одна из осциллограмм пневмопривода двустороннего действия.

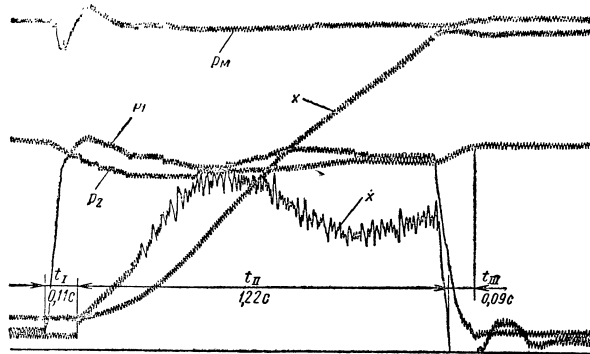


Рисунок 3.1.9 – Типичная осциллограмма пневмопривода двустороннего действия ($D = 0,1$ м; $s = 0,6$ м; $V_0 = 0,03$ м³; $d = 1/2$ " ; $p_m = 6 \cdot 10^4$ кгс/см²; $N = 1,3$)

После переключения распределителя и подачи сжатого воздуха при давлении p_m из магистрали в рабочую полость давление p_1 быстро растет, а в выхлопной падает (кривая p_2).

Как только перепад этих давлений возрастет настолько, чтобы преодолеть силы сопротивления привода, поршень начинает перемещаться (кривая x). Этот момент, характеризующий окончание подготовительного периода, точнее всего отмечается на кривой скорости \dot{x} ($t_I = 0,11$ с).

Поршень перемещается сначала довольно быстро, на что указывает резкий подъем кривой скорости. При этом в выхлопной полости за счет сжатия воздуха, обусловленного перемещением поршня, образуется воздушная подушка, движение поршня замедляется, на что указывает также падение кривой \dot{x} . Поршень доходит до упора за время $t_{II} = 1,22$ с, ударяется об него, его отскок характеризуется изменением характера кривой \dot{x} . Время заключительного периода $t_{III} = 0,09$ соответствует повышению давления в рабочей полости практически до магистрального. Изменение давления p_m в начале процесса вызвано регулятором, установленным на входе системы. О влиянии конструктивных параметров привода на характер перемещения поршня можно судить, сравнив эту осциллограмму с осциллограммой, приведенной на рис. 5.3.2а.

Вследствие большого значения коэффициента пропускной способности Ω привода, осциллограмма которого приведена на рис. 3.1.10, давление p_2 в выхлопной полости падает быстрее, чем у привода, изображенного на рис. 3.1.9. При перемещении поршня в этой полости не образуется воздушная подушка, кривая скорости \dot{x} в течение рабочего периода монотонно возрастает. Так как поршень подходит к упору с большой скоростью, то его отскок более значителен по сравнению с показанным на рис. 3.1.9. Штриховыми линиями на экспериментальной осциллограмме изображены расчетные линии.

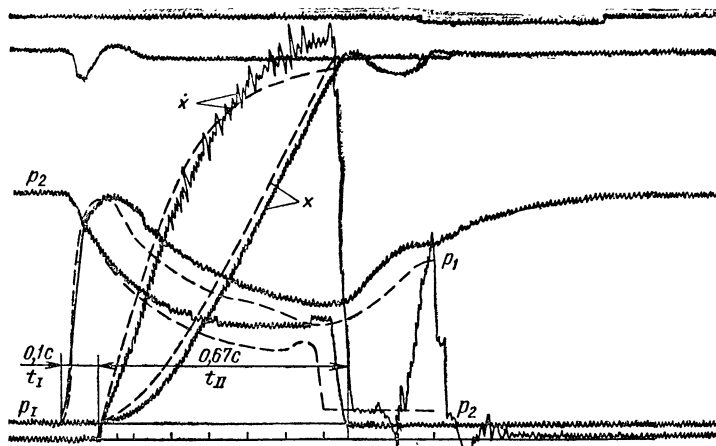


Рисунок 3.1.10 – Типичная осциллограмма пневмопривода двустороннего действия ($\Omega=3,0$;
 $\chi=0,1$; $p_m = 7 \cdot 10^4$ кгс/см²; $N=0,5$)

Тема 3.2 Динамический синтез пневмоприводов

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ПОРШНЯ

Основной задачей проектного расчета пневмопривода является выбор эффективной площади поршня и эффективных проходных сечений каналов подводящей f^p и выхлопной f_e^v магистралей по заданной скорости поршня, принимаемой постоянной и при постоянной силе сопротивления. При этом, необходимо учесть особенности пневмопривода, заключающиеся в том, что движение, близкое к установившемуся, может быть получено только при определенных сочетаниях исходных величин, задаваемых конструктору, а именно: средняя скорость поршня V_{cp} , его ход S , масса подвижных частей m_n и принимаемых им начальных условиях.

Такими начальными условиями являются:

1) давление в полости наполнения равно атмосферному, а в полости выхлопа - магистральному;

2) давление в общих полостях атмосферное.

Условия первого вида в общей мере способствует получению движения, близкого к равномерному. Поэтому вначале необходимо оценить возможность получения движения, близкого к равномерному при заданных исходных параметрах.

Изменение скорости определяется значениями безразмерных параметров N , Ω , χ .

Безразмерный конструктивный параметр N , равен

$$N = 275,14 \frac{\mu_1 d_1^2}{D^3} \sqrt{\frac{P}{P_m L}} \quad (3.29)$$

где μ_1 – коэффициент расхода выхлопной магистрали;

d_1 – диаметр выхлопной магистрали (м);

D – диаметр поршня (м);

P – полная сила сопротивления на штоке (Н);

P_m – магистральное давление (МПа);

L – ход поршня (м).

Безразмерный параметр, характеризующий пропускные способности подводящей и выхлопной магистралей Ω , равен:

$$\Omega = \frac{\mu_2 f_2}{\mu_1 f_1} = \frac{f_2^3}{f_1^3} \quad (3.30)$$

где, соответственно μ_1, μ_2 – коэффициенты расходов подводящей и выхлопной магистралей; f_2 и f_1 – площади их сечения.

Безразмерный параметр, характеризующий нагрузку на штоке χ , равен:

$$\chi = \frac{P}{0,785 P_m D^2} \quad (3.31)$$

С достаточной для расчетов точностью, условие получения режима движения, близкого к установившемуся, можно записать в виде:

$$\delta \leq \delta_y \quad (3.32)$$

где δ - критерий инерционности пневмопривода, численно равен:

$$\delta = V_{cp} \sqrt{\frac{m}{PL}} \quad (3.33)$$

где m - масса всех подвижных частей пневмопривода (поршня, штока и т.д.).

На основании опытных данных установлено граничное значение δ_y , при превышении которого невозможно получить движение поршня, близкое к установившемуся.

Для начальных условий по давлению в полостях 1-го вида в качестве такой границы допустимо принять $\delta_y = 0,25$ и тогда условие получения установившегося движения запишется в виде: $\delta \leq 0,25$

При использовании выражения (3.33) следует иметь в виду, что величины m и P , которые представляют собой соответственно полную массу всех подвижных частей и полную силу сопротивления, приложенную к поршню, до выбора диаметра цилиндра и штока конструктору неизвестны. Рекомендуется, предварительно принимать значение массы $m \approx 100-200$ кг.

В общем случае полная сила сопротивления равна:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \pm P_a F_{ш} \quad (3.34)$$

где P_1 – сила трения в уплотнениях поршня и штока;

P_2 – сила полезного сопротивления;

P_3 – вес поршня со штоком (учитывается только для вертикально расположенных пневмоцилиндров. При проектном расчете);

$P_a F_{ш}$ - сила противодействия в выхлопной полости.

При проектном расчете, можно $P_a F_{ш} \approx 0$.

Когда сила полезного сопротивления P_2 является доминирующей, то для расчета P_1 , можно пользоваться следующей эмпирической зависимостью:

$$P = 3,5 \sqrt{P_2} \quad (3.35)$$

С учетом выражения (3.34), для пневмоцилиндра, расположенного горизонтально, получим:

$$P = 3,5 \sqrt{P_2} + P_2 \quad (3.36)$$

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ПО ЗАДАННОЙ СКОРОСТИ ПОРШНЯ

Задача выбора параметров пневмопривода по заданной скорости V_{cp} , и силе сопротивления P в общем случае не решается однозначно. Задав, например, произвольным значение площади поршня F , которое должно быть больше минимального значения, определяемого из условия получения достаточной движущей силы для преодоления сил сопротивления, можно настроить привод на заданную скорость поршня путем подбора эффективных проходных сечений на входе f^o и выходе f_e^o . При этом для каждого F будет иметь не один, а несколько вариантов, характеризующихся различными соотношениями f^o и f_e^o .

Количественные отношения F, f^o, f_e^o между определяются безразмерными зависимостями:

– безразмерная эффективная площадь проходного сечения подводимой линии

$$U_y = f^o a_l \quad (3.37)$$

– коэффициент пропорциональности;

$$a_1 = \frac{K' P_m}{P V_{cp}} \quad (3.38)$$

$$K' = \sqrt{\frac{2qKR'T_m}{K-1}} \quad (3.39)$$

Если принять

$$T_m = 290 \text{ К}, \quad Q = 9,8 \text{ м/с}^2,$$

$K=1,4$ и $R=29,3 \text{ м/К}$, то получим:

$$K=763,5 \text{ м/с}.$$

Безразмерная площадь поршня

$$\frac{1}{\chi} = F a_2 \quad (3.40)$$

Коэффициент пропорциональности

$$a_2 = \frac{P_m}{P} \quad (3.41)$$

При подсчете a_1 и a_2 давление следует измерять в Н/м^2 (Па), силу P в кг м/с^2 (Н), скорость – в м/с .

Безразмерная эффективная площадь проходного сечения выхлопной линии –

$$\Omega = \frac{f_s^3}{f^3}$$

Этой величиной необходимо предварительно задаться, руководствуясь следующими соображениями.

С увеличением Ω при сохранении исходных данных неизменными, величина f^3 уменьшается, а с уменьшением наоборот f^3 увеличивается. Это объясняется падением противодавления в полости выхлопа, препятствующего движению поршня, по мере относительного увеличения проходного сечения выхлопного канала по сравнению с подводящим.

В литературе, приведены в виде номограмм зависимости безразмерной эффективной площади проходного сечения подводящей линии U_y как функции безразмерной площади поршня $1/\chi$ для различных значений Ω .

Кривые $U_y = f(1/\chi)$ охватывают область значений Ω от 0,01 до бесконечности, причем $\Omega = \infty$ характеризуют предельный случай движения поршня с бесконечно большим выхлопным каналом, т.е. когда давление в полости выхлопа равно атмосферному в течение всего хода.

Для всех кривых характерно наличие минимума в области значений параметра $1/\chi = 1,35 \div 2,2$. Каждое значение $U_y = U_{y \min}$ определяет минимальное сечение канала подводящей линии при данном Ω . При $\Omega = \infty$, $U_{y \min} = 5,5$ и $1/\chi = 2,2$. При относительно малых колебаниях значений силы сопротивления P в качестве допустимого предела при проектном расчете можно принять. $\chi_{\text{доп}} = 0,7$ или $1/\chi = 1,43$. В остальных случаях рекомендуется принимать $\chi = 0,4 \div 0,5$ или $1/\chi = 2 \div 2,5$.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПНЕВМОЛИНИЙ

Размеры элементов пневмолиний, т.е. площади их проходных сечений f выбирают по принятой схеме соединения элементов друг с другом и с учетом соотношения $f^3 \geq f_{\text{расч}}^3$, где f^3 -

эффективная площадь проходного сечения линии, определенная в динамическом расчете пневмопривода.

Рассмотрим простейший частный случай, когда в линии входят только элементы одинакового проходного сечения, соединенные последовательно: $f_1 = f_2 = \dots = f_n$. Решение данной задачи должно быть однозначным. Приведенная длина трубопроводов, эквивалентного всей линии всегда больше физической длины труб реальной системы. Вычислив по формуле (1.10) f_{min}^0 , выбрав из таблицы 3.2.1 типы пневмоаппаратов, определяют приведенную длину трубопровода $L_{эkv}$.

Таблица 3.2.1 – Основные характеристики пневмоэлементов.

Наименование аппарата	Условный проход d_y , мм	Эффективная площадь f^0 , мм ²	Длина эквивалентного трубопровода $L_{эkv}$, м
Фильтр В41-1	20	82	14.1
Маслораспылитель В63-1	20	118	17.6
Обратный клапан В51-1	20	69	17.5
Воздухораспределитель В63-2	20	87	7.5

Далее, по графику (рис. 3.2.1) для f_{min}^0 (ось ординат) и $L_{эkv}$, определяют коэффициент расхода μ и площадь проходного сечения пневмолиний по формуле:

$$f = \frac{f_{min}^0}{\mu} \quad (3.42)$$

и диаметр пневмолиний d_y по формуле:

$$d_y \geq \sqrt{\frac{4f}{\pi}}$$

Найденное значение диаметра d_y округляют до ближайшего большего по ГОСТ 11383-75. В соответствии с этим ГОСТ диаметры имеют следующие размеры: 6, 8, 10, 13, 15, 20, 25, 32 мм.

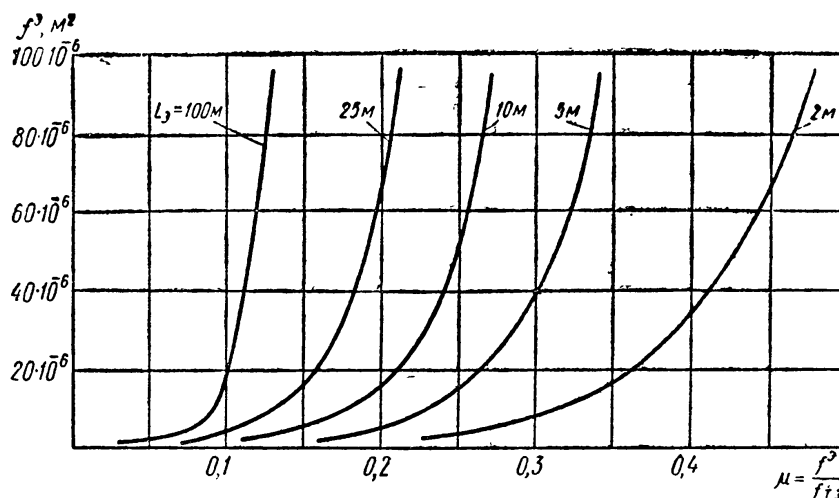


Рисунок 3.2.1 – График для приближенной оценки диапазона изменений f^0/f при проектном расчете пневматической линии

Для выполнения курсового проекта по исследованию динамики пневмопривода необходимо ознакомиться с методическими указаниями по выполнению курсового проекта, а также с литературой основной из которых является:

- 1) Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие, М.: «Машиностроение», 1975. – 272 с.;
- 2) Донской А.С. Моделирование и расчет пневматических приводов: Учеб. пособие. – СПб.: 2017. – 87 с.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

**Пневматика, пневматические устройства и
системы**

для специальности

1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника»

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра «Вакуумная и компрессорная техника»**

**Пневматика, пневматические устройства и
системы**

Пособие
для студентов специальности
1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника»

Минск

БНТУ

2023

Составители:

С.В. Корнеев, Е.П. Орлова

В пособии по дисциплине «Пневматика, пневматические устройства и системы» представлены указания к выполнению лабораторных работ. В каждой работе приведены теоретические сведения, практическая часть и контрольные вопросы.

Пособие предназначено для закрепления теоретических знаний, полученных при изучении курса, а также для приобретения практических навыков по расчету различных процессов, протекающих в пневматических устройствах и системах.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	185
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 Изучение условных графических обозначений основных пневмоэлементов на схемах	186
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 Изучение подсистемы производства и подготовки сжатого воздуха ...	191
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 Изучение подсистемы распределения сжатого воздуха. Расчет трубопроводов	197
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 Изучение конструкции и работы пневмоцилиндров. Построение схем прямого и непрямого управления пневмоцилиндрами	200
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 Изучение конструкции и работы пневмораспределителей. Подбор пневмораспределителей	203
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 Изучение конструкции и работы пневмоклапанов и элементов пневмоавтоматики. Построение пневматических схем с элементами логики	210
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 Изучение и построение электропневматических схем.....	215
ПРИЛОЖЕНИЕ	220

ВВЕДЕНИЕ

Пособие разработано в соответствии с учебной программой дисциплины «Пневматика, пневматические устройства и системы» для специальности 1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника».

Основными задачами изучения дисциплины являются ознакомление с устройством и принципом действия типовых элементов пневматики, получение навыков изображения и сборки пневматических схем, получение практических навыков расчета процессов, протекающих в пневматических системах. Одной из форм изучения дисциплины являются лабораторные работы.

Пособие включает в себя семь лабораторных работ по основным разделам курса «Пневматика, пневматические устройства и системы».

Каждая лабораторная работа включает в себя цель, теоретическую часть, практическую часть и контрольные вопросы.

Для обеспечения самостоятельности работы студентам даются индивидуальные задания. В работах приводятся необходимые для выполнения задания теоретическая информация, схемы, рисунки, формулы, справочный материал. Алгоритм выполнения некоторых сложных заданий поясняется на примерах.

Каждая выполненная работа требует ее защиты посредством ответов на контрольные вопросы с проверкой правильности выполнения индивидуального задания.

Перед началом работы студенты получают инструктаж по охране труда и технике безопасности и расписываются в соответствующем журнале. При работе на пневматическом стенде следует неукоснительно соблюдать требования безопасности. При отсоединении любых пневмоустройств и пневмолиний давление должно быть предварительно сброшено.

Лабораторная работа №1

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ОСНОВНЫХ ПНЕВМОЭЛЕМЕНТОВ НА СХЕМАХ

Цель работы: Изучить условные графические обозначения основных пневмоэлементов на пневматических схемах. Проследить связь между принципом действия основных элементов и их графическим изображением.






Теоретический материал

Принципиальная схема пневматического объекта определяет состав его элементов, связей между ними и дает полное представление о принципах работы объекта.

Каждый символ в какой-то мере отражает функцию или конструкцию элемента схемы. Выполнять схемы желательно так, чтобы было меньше пересечений линий связи. Условные обозначения, которые находят применение в пневмоавтоматике, выполняются в соответствии с ИСО 1219 "Гидравлические и пневматические системы и приборы - обозначение схем". В табл. 1.1 приведены условные обозначения элементов системы производства и подготовки воздуха.

Таблица 1.1

Элементы системы производства и подготовки воздуха



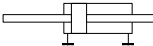
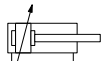
Вид пневмоустройства (пневмоэлемента)	Обозначение
Источник давления	
Компрессор с постоянным рабочим объемом	
Пневмоаккумулятор (ресивер)	
Фильтр влагоотделитель	
Ограничитель давления (предохранительный клапан)	

Линейные исполнительные устройства

Линейные исполнительные устройства или пневмоцилиндры изображаются в виде, близком к их конструктивной форме, но без деталей, не несущих основного функционального назначения. В табл. 1.2 приведены условные обозначения некоторых пневмоцилиндров.

Таблица 1.2

Пневмоцилиндры




Вид пневмоцилиндра	Обозначение
Цилиндр одностороннего действия	
Цилиндр двустороннего действия	
Цилиндр двустороннего действия с проходным штоком	
Цилиндр двустороннего действия с регулируемым демпфированием	

Вращательные исполнительные устройства

Различают вращательные приводы в виде моторов с неограниченным углом поворота и поворотные приводы с ограниченным углом поворота (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Пневмомоторы и поворотники






Вид пневмомотора	Обозначение
Пневмомотор с постоянным рабочим объемом и одним направлением вращения (нереверсивный)	
Реверсивный пневмомотор с регулируемым рабочим объемом	
Пневматический поворотник	

Пневмораспределители

Распределители используются для коммутации и изменения направления движения энергоносителя под давлением (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Обозначение позиций распределителей

Логика построения обозначения	Обозначение
Позиции переключения изображаются в виде квадрата	
Число квадратов соответствует числу позиций переключения	 2 позиции
Линия обозначает, проточную часть с указанием направления течения	
Закрытый канал обозначается прерыванием линии с рисками на концах	
Линии присоединения к распределителю обозначаются вне квадрата в одной позиции	

Распределители характеризуются числом присоединений, числом позиций переключения и проточной частью. В табл. 1.5 представлены варианты пневмораспределителей.

Таблица 1.5

Пневмораспределители

Условное графическое изображение	Тип пневмораспределителя	Условное графическое изображение	Тип пневмораспределителя
	2/2 Нормально закрытый		5/2
	3/2 Нормально закрытый		5/3 в среднем положении закрыт

В обозначении распределителя 5/2 первая цифра показывает число линий присоединения, а вторая число позиций переключения.

Линии присоединения распределителей могут обозначаться буквами или цифрами по DIN ISO 5599-3. Цифрой 1 или буквой Р обозначают линии питания сжатым воздухом. Цифрами 2, 4 или буквами А, В рабочие линии. Цифрами 3, 5 или буквами R, S линии выхлопа.

Основные способы управления распределителем и возврата его в исходное состояние должны изображаться вместе с распределителем (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Условные графические изображения некоторых видов управления пневмораспределителями

Условное графическое изображение	Вид управления
	Ручное управление обобщенный символ (поворотный переключатель, переключатель с замком, рукоятка, тяга, тумблер и т.д.)
	Нажимная кнопка (грибовидная, выступающая, утопленная)
	Механический толкатель (прямой толкатель, роликовый толкатель)
	Управление посредством сжатого воздуха
	Возвратная пружина

Обратные клапаны

Обратные клапаны устанавливают в тех линиях пневматической системы, где требуется обеспечить свободное протекание потока сжатого воздуха в одном направлении и полное его перекрытие – в обратном (рис. 1.1).

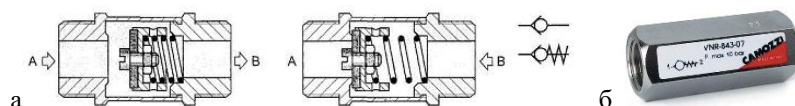


Рис. 1.1 Обратный клапан: а – конструкция и условное графическое обозначение на схемах; б – внешний вид

Устройства регулирования расхода

Дроссель создает сопротивление потоку и как правило используется для регулирования скорости исполнительных органов привода.

На рисунке показан как постоянный (рис. а) так и регулируемый дроссель (рис. б).

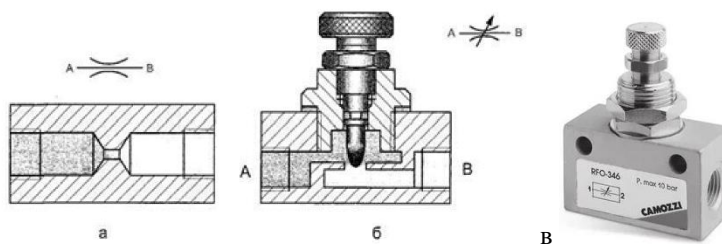


Рис. 1.2 Пневмодроссели (конструкция и условное графическое обозначение на схемах): а – постоянный; б – регулируемый; в – внешний вид

Пневмодроссель с обратным клапаном

В дросселе с обратным клапаном последний включается параллельно дросселю. В этом случае дросселирование осуществляется только в одном направлении.

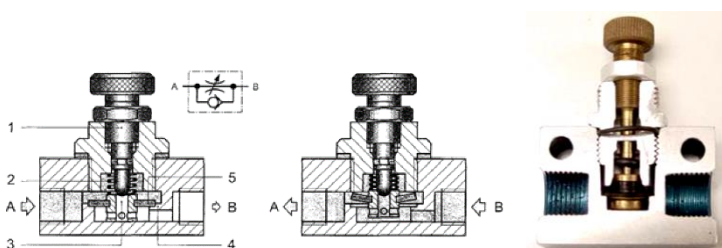




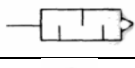


Рис. 1.3 Пневмодроссель с обратным клапаном (конструкция и условное графическое обозначение на схемах): 1 – регулировочный винт; 2 – пружина; 3 – дросселирующее отверстие; 4 – седло; 5 – тарельчатый обратный клапан

Вспомогательные условные обозначения

Имеется ряд дополнительных узлов, которые применяются совместно с упомянутыми устройствами (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Дополнительные элементы пневмосхем

Условное графическое изображение	Элемент схемы
	Соединение трубопроводов
	Пересечение трубопроводов
	Внешняя линия без узла для присоединения
	Внешняя линия с резьбой для присоединения
	Глушитель
	Манометр
	Оптический индикатор

Практическая часть

- 1) Ознакомиться с пневматическими элементами на действующих образцах пневмоэлементов пневмостенда (рис. 1.4). Найти рассмотренные в работе пневмоэлементы.
- 2) Описать принцип действия представленной на рис. 1.5 схемы, исходя из принципа действия изученных элементов.
- 3) Изобразить представленную на рис. 1.5 схему с включением дросселя и дросселя с обратным клапаном с пояснением принципа работы схемы.

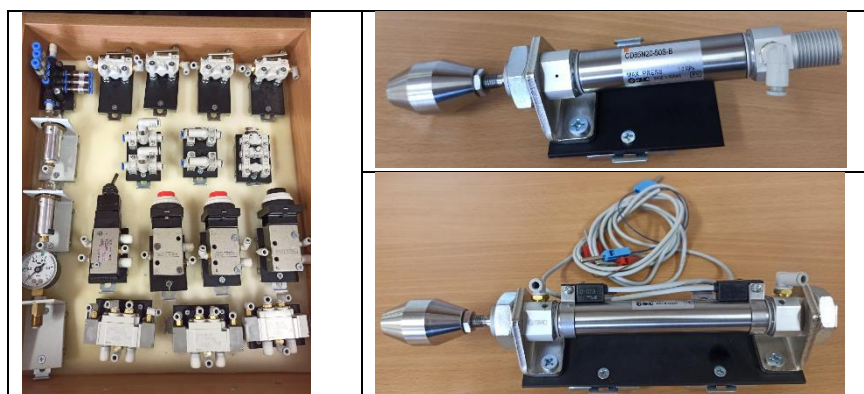


Рис. 1.4 Некоторые элементы и устройства пневматического стенда для лабораторных работ

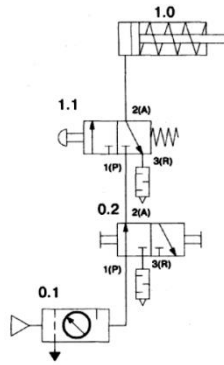


Рис. 1.5 Простейшая схема пневматического привода

Контрольные вопросы:

- 1) Сопоставьте принцип действия каждого пневмоэлемента и его графическое изображение;
- 2) Составьте простейшую схему из пневмоэлементов по описанию ее работы (задается преподавателем).

Лабораторная работа №2

ИЗУЧЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПОДГОТОВКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Цель работы: Изучить состав подсистемы производства и подготовки сжатого воздуха, а также принцип действия отдельных элементов подсистемы. Изучить монтаж и настройку элементов подсистемы производства и подготовки сжатого воздуха.

Теоретический материал

Производство сжатого воздуха осуществляется за счёт установки, которая включает в себя: компрессор; резервуар (ресивер); приборы системы безопасности и регулировки (клапаны безопасности, редукционные клапаны, устройства сброса конденсата, фильтры и др.); распределительные линии. Подготовка сжатого воздуха определяется требованиями к сжатому воздуху для определенного производства (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Классы чистоты воздуха (твердые частицы : вода : масло) по ISO 8573-1-2016

Класс	Твердые частицы			мг/м ³	Вода		Масло Общее содержание масла, мг/м ³
	максимальное количество в м ³				Точка росы, °С	Жидкость, г/м ³	
	0,1-0,5 мкм	0,5-1 мкм	1-5 мкм				
0							
1	20000	400	10	-	до -70	-	0,01
2	400000	6000	100	-	до -40	-	0,1
3	-	90000	1000	-	до -20	-	1
4	-	-	10000	-	до +3	-	5
5	-	-	100000	-	до +7	-	-
6	-	-	-	5	до +10	-	-
7	-	-	-	5-10	-	до 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5-5	-
9	-	-	-	-	-	5-10	-
X	-	-	-	>10	-	>10	>10

Во многих отраслях промышленности предъявляются строгие требования к качеству сжатого воздуха. Пример: упаковка пищевых продуктов (класс 1:4:1), прямой контакт с сухими продуктами (класс 1:2:1), окрасочное оборудование (класс 1:4:2).

Величина фильтрации – это величина наименьших частиц, задерживаемых фильтром. Пример: 40 мкм для стандартных применений 5 мкм для точных устройств. Производитель также указывает максимальное рабочее значение давления, которое способен выдержать фильтр.

Для корректной работы устройства при установке необходимо соблюдать направление прохода воздуха через фильтр (от входа к выходу, IN → OUT). На рис. 2.1 представлены разновидности фильтров и маслораспылитель.

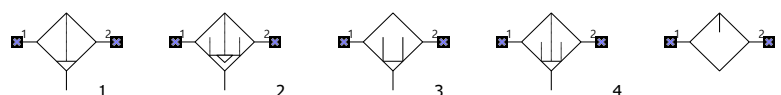


Рис. 2.1 Разновидности фильтров и маслораспылитель: 1 – фильтр с ручным сбросом конденсата; 2 – фильтр с автоматическим сбросом конденсата; 3 – микрофильтр маслораспылитель; 4 – субмикрофильтр; 5 – маслораспылитель (лубликатор)

На рисунке 2.2 представлены конструкции фильтра-влагоотделителя и маслораспылителя.

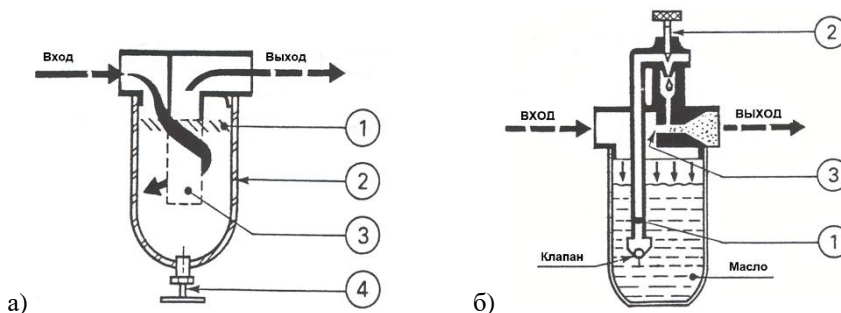


Рис. 2.2 Конструкции фильтра-влагоотделителя (а) и маслораспылителя (б)

Дефлектор 1 (рис. 2.2а) создает турбулентное движение воздуха. Крупные частицы, имеющие большую инерцию движения отбрасываются на стенки корпуса 2 и собираются на его дне. Более мелкие частицы отделяются при помощи фильтр-патрона 3. Очистка производится через спускное отверстие 4 вручную или автоматически.

Маслораспылитель должен быть как можно ближе к потребителям. Движение воздуха через суживающийся канал маслораспылителя образует эффект Вентури и поднимает масло по каналу 1 (рис. 2.2б) с регулировкой расхода при помощи винта 2. Капли 3 распыляются и переносятся воздухом.

На рисунке 2.3 изображена конструкция, внешний вид и условное графическое изображение регулятора давления.



Рис. 2.3 Регулятор давления

Рукоять для регулировки 1 позволяет, через промежуточную пружину 2 и диафрагму 3, регулировать момент открытия клапана 4, который обеспечивает проход воздуха из системы с первичным давлением P_1 в систему с вторичным давлением P_2 . Давление, устанавливаемое под диафрагмой 3, которая управляет клапаном 4, переходит в уравновешивающее положение и поддерживает постоянное давление.

Ручной клапан (рис. 2.4а) предназначен для подачи давления в систему и сброса сжатого воздуха из системы в атмосферу при отключении. Клапан переключается поворотной рукояткой. В канал 3 можно установить глушитель и/или шланг для отвода сбрасываемого воздуха. Рукоятка клапана в положении «Подача воздуха перекрыта» может быть заблокирована замком.

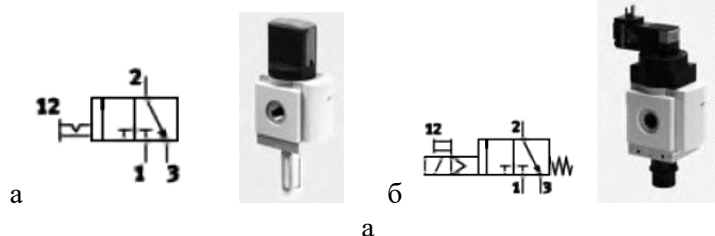


Рис. 2.4 Клапаны подачи/сброса давления: а – с ручным управлением; б – с электромагнитным управлением

Клапан с электромагнитным управлением (рис. 2.4б) предназначен для подачи давления в систему и сброса сжатого воздуха из системы в атмосферу при отключении. Также имеется ручное дублирование поворотом с фиксацией.

Клапаны плавного пуска (рис. 2.5) предотвращают внезапные и резкие перемещения. Полное включение происходит после набора 50% входного давления

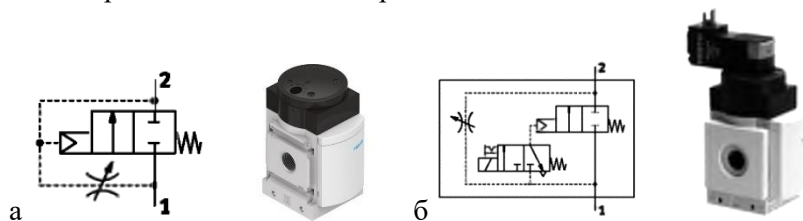


Рис. 2.5 Клапаны плавного пуска: а – пневмоуправляемый клапан; б – электропневмоуправляемый клапан

Для клапана плавного пуска (рис. 2.5а), выходное давление p_2 растет в соответствии с настройкой дросселя. Главный клапан открывается, когда давление достигает значения срабатывания.

Для клапана плавного пуска (рис. 2.5б), когда электромагнитный клапан выключен, воздух подается только через дроссель. Главный клапан открывается только при подаче сигнала на катушку. Если напряжение с катушки снять, главный клапан закроется, и подача воздуха в систему будет идти только через дроссель.

Для быстрого сброса воздуха из системы электромагнитный клапан должен оставаться включенным, т.к. при этом воздух беспрепятственно проходит с выхода 2 на вход 1.

Условное обозначение комбинации элементов блока подготовки воздуха, состоящего из воздушного фильтра, регулятора давления, манометра и маслораспылителя и его упрощенное обозначение представлены ниже.

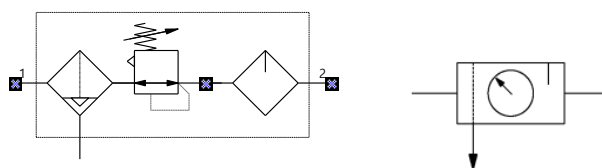


Рис. 2.6 Блок подготовки воздуха и его упрощенное обозначение

Ниже представлена комбинация фильтра влагоотделителя, регулятора давления, маслораспылителя и клапана плавного пуска (рис. 2.7).

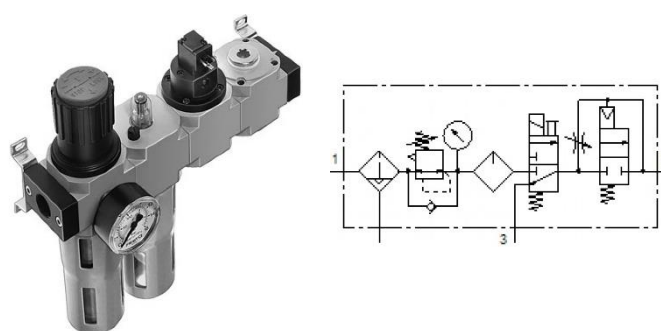


Рис. 2.7 Вариант исполнения блока подготовки воздуха

Для уменьшения количества влаги до уровня, регламентируемого требованиями к сжатому воздуху для определенных классов чистоты необходимы дополнительные устройства, называемые осушителями.

Практическая часть

1) Ознакомиться с органами управления лабораторной системы получения сжатого воздуха. Опробовать систему в ручном и автоматическом режиме. Подключить к выходу компрессорной установки блок подготовки воздуха (рис. 2.8) и опробовать его работу.

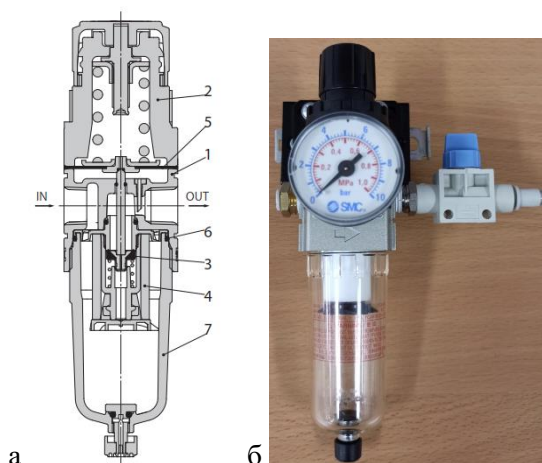


Рис. 2.8 Конструкция (а) и внешний вид (б) блока подготовки воздуха пневматического лабораторного стенда: 1 – корпус; 2 – кожух; 3 – клапан в сборе; 4 – фильтрующий элемент; 5 – мембрана в сборе; 6 – уплотнение; 7 – резервуар

2) Произвести разборку и сборку фильтра с регулятором давления.



Рис. 2.9 Блок подготовки с фильтром-влажнотделителем, регулятором давления и манометром для разборки-сборки

3) Рассчитать количество сконденсированной влаги при работе пневмосистемы и определить перепад давления на фильтрах.

Задание 1: Определить количество конденсата, образующегося при работе пневмосистемы. Относительная влажность:

$$\%Вл = \frac{V_{\phi}}{V_n} \cdot 100$$

V_{ϕ} – фактическое содержание воды в воздухе; V_n – содержание воды в состоянии насыщения;

Пример 1: Температура воздуха 25 °С, относительная влажность 65%. Сколько воды содержится в 1 м³ воздуха?

Из табл. 2.2 определяем максимальное количество влаги при 25 °С (содержание воды в состоянии насыщения). $V_n = 23,76$ г/м³ при $t=25$ °С. Тогда $V_{\phi} = 23,76 \cdot 0,65 = 15,44$ г/м³.

Таблица 2.2

Максимальное содержание влаги в воздухе в виде пара при различных температурах

Температура, °С	-15	-10	-5	0	5	10
Влагосодержание, г/м ³	1,61	2,37	3,42	4,98	6,86	9,51
Температура, °С	15	20	25	30	35	40
Влагосодержание, г/м ³	13,04	17,69	23,76	31,64	41,83	54,11

Пример 2: Воздух с температурой 15 °С и относительной влажностью 65% объемом 10 м³ сжимается до манометрического давления 6 бар. Допустимое повышение температуры ограничено значением 25 °С (т.е. если температура выше, то воздух охлаждается до 25 °С). Сколько воды сконденсируется?

Из таблицы определяем, что при исходной температуре в воздухе может содержаться максимально $13,04 \text{ г/м}^3$. При относительной влажности 65% в 10 м^3 содержится $13,04 \cdot 0,65 \cdot 10 = 84,9 \text{ г}$ влаги. Объем сжатого воздуха при давлении 6 бар будет равен $V_2 = V_1 \cdot p_1/p_2 = 10 \cdot 1,013/(6+1,013) = 1,44 \text{ м}^3$.

При $25 \text{ }^\circ\text{C}$ воздух максимально содержит $23,76 \text{ г/м}^3$, тогда в сжатом воздухе максимально может содержаться $1,44 \cdot 23,76 = 34,2 \text{ г}$ влаги. Количество конденсата равняется разности между общим количеством воды, содержащимся в атмосферном воздухе и количеством воды, которое может содержать сжатый воздух при указанной температуре. Тогда $84,9 - 34,2 = 50,6 \text{ г}$ воды выпадет в виде конденсата.

Исходные данные к индивидуальному расчету

Расход неподготовленного воздуха составляет 3000 л/мин (обратите внимание, что в примере расчета был задан объем воздуха в м^3) при давлении 1 бар , воздух сжимается до давления 6 бар . Температура воздуха и относительная влажность представлены в табл. 2.3. Ответ имеет размерность г/мин .

Таблица 2.3

Исходные данные к расчету

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура, $^\circ\text{C}$	10	13	15	18	20	22	27	30	32
Относительная влажность, %	50	55	57	60	62	68	70	72	75

Исходные данные к расчету (продолжение)

Вариант	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Температура, $^\circ\text{C}$	35	37	40	31	29	26	24	23	21
Относительная влажность, %	80	82	85	10	15	70	55	60	65

Задание 2: Используя диаграмму, приведенную на рис. 2.10, определите перепад давления для двух фильтров по следующим параметрам: 1) давление на входе 5 бар и расход 725 нл/мин ; 2) давление на входе 7 бар и расход 1000 нл/мин ; 3) давление на входе 7 бар и расход 1350 нл/мин .

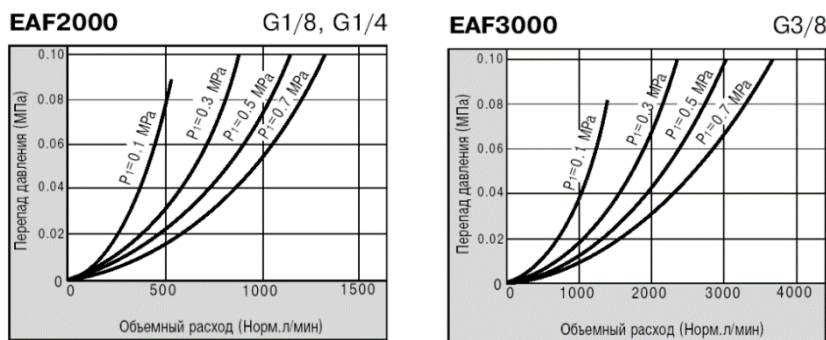


Рис. 2.10 Характеристики фильтров

Содержание отчета

- 1) Изображение конструкций фильтра, регулятора давления, маслораспылителя.
- 2) Схема блока подготовки воздуха с фильтром, регулятором давления, маслораспылителем и клапаном плавного пуска (условные графические изображения).
- 3) Расчеты практической части.

Контрольные вопросы:

- 1) Что входит в подсистему производства сжатого воздуха?
- 2) Какие требования предъявляются к системам питания. Классы чистоты воздуха?
- 3) Каковы функции системы подготовки воздуха?

- 4) Какие элементы входят в систему подготовки воздуха?
- 5) Назначение устройств и требования, предъявляемые к ним? Нарисуйте в упрощенном виде, и объясните принцип действия каждого элемента изученной подсистемы;
- 6) Как определить количество сконденсированной воды при работе пневмосистемы?

Лабораторная работа №3

ИЗУЧЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

Цель работы: Изучить состав подсистемы распределения сжатого воздуха, виды трубопроводов и шлангов, а также способы их соединения. Получить навыки расчета и выбора трубопроводов.

Теоретический материал

Трубопроводы

Пневмолинии реализуют по схемам незамкнутой линии с установкой ресивера на конце пневмолинии, кольцевой и матричной схемам.

Требования к трубопроводам: обеспечить небольшой уклон трубопровода (1 см на 2 метра длины); отводы необходимо монтировать сверху трубопроводов; обеспечить уплотнение в разъемах; избегать больших сужений (развилки, изгибы).

При возможном изменении температуры среды обязательна нужна компенсация изменения длины трубопровода при температурном воздействии.

Полужёсткая подводка изготавливается на базе пластичных материалов. Мягкая подводка (гибкая) изготавливается из мягких пластиков или каучука и усиливается дополнительной оплёткой.

Способы соединения трубопроводов, а также гибкой подводки и шлангов

Соединения трубопроводов могут быть неразъемными (при помощи сварки и пайки) и разъемными. Для трубопроводов больших диаметров могут применять бугельные разъемные соединения, а также фланцевые соединения. Для гибкой подводки и шлангов, а также медных труб и подводки широко применяют соединения с использованием стяжной гайки которая плотно фиксирует шланг или трубу на конусе. Для быстрого подключения шлангов, рукавов и других частей промышленного оборудования применяют быстроразъемные соединения с муфтой или кнопкой для разблокировки.

При выполнении работ на пневматическом стенде для лабораторных работ используется цанговое соединение (рис. 3.1).

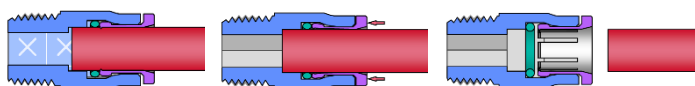


Рис. 3.1 Цанговое соединение

Расчет трубопроводов

Последовательность расчета трубопровода: по заданному расходу определяется ориентировочная величина внутреннего размера трубопровода; определяются суммарные потери давления в трубопроводе; суммарные потери давления сравниваются с допустимыми, при значительном расхождении необходимо изменить диаметр трубопровода и сделать перерасчет.

Величина суммарных потерь давления в трубопроводе, без учета инерции среды, определяется по формуле:

$$\Delta p = \sum \Delta p_m + \sum \Delta p_{\text{м}}$$

где Δp_m – потери давления на трение по длине трубопровода; $\Delta p_{\text{м}}$ – потери давления на местных сопротивлениях.

$$\Delta p_m = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{Q^2}{S^2},$$

где λ – коэффициент потерь давления на трения; l – длина трубопровода, м; d – диаметр трубопровода, м; ρ – плотность газа, кг/м³; Q – расход газа, м³/с; S – площадь живого сечения потока среды, м².

При турбулентном режиме течения для области гидравлически гладких труб $\lambda=0,3164/Re^{0,25}$ ($Re \geq 2320$). Для трубопроводов круглого сечения

$$Re = V \cdot d / \nu$$

где V – скорость потока среды, м/с; ν – коэффициент кинематической вязкости среды, м²/с.

Коэффициент трения λ зависит от характера течения (ламинарное или турбулентное) и числа Рейнольдса, а при турбулентном течении – еще и от коэффициента шероховатости Δ поверхности трубы.

Коэффициент трения λ для ламинарного течения (при $Re < 2320$) вычисляется следующим образом:
 $\lambda = 64 / Re$

Расчет сопротивлений пневматических линий

Сопротивление пневматической линии зависит от сопротивления трубопровода и сопротивлений составляющих ее элементов.

Потери давления на местном сопротивлении можно вычислить по формуле:

$$\Delta p_m = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{Q^2}{S^2},$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления.

Если площадь проходного сечения всех подключенных в нее устройств, а также площади сечения соединяющих их трубопроводов одинаковы, то коэффициент сопротивления ζ такой линии будет определяться суммарным сопротивлением входящих в линию пневмоэлементов и сопротивлением отдельных участков трубопровода:

$$\zeta = \zeta_{ex} + \zeta_1 + \zeta_2 + \dots + \zeta_n + \lambda \cdot \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{d}$$

где $\zeta_{вх} = 0,5$ – коэффициент сопротивления входа в линию;

$\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_n$ – коэффициенты сопротивления пневмоаппаратуры в линии;

λ – коэффициент трения газа в трубопроводе,

l_1, l_2, \dots, l_n – длины трубопроводов между пневматическими элементами в линии,

d – диаметр трубопроводов.

При использовании различных арматурных элементов их сопротивление можно заменить эквивалентной длиной прямой трубы соответствующего условного прохода.

Для практических расчетов можно использовать специальные номограммы связывающие между собой основные параметры (рис. П1)

Пример: Требуется определить размер трубы, через которую будет проходить расход воздуха 16800 нл/мин при максимальном перепаде давления не более 0,3 бар на 125 м длины трубы. Давление составляет 9 бар. Падение давления в 30 кПа на 125 м соответствует 30 кПа/125 м=0,24 кПа/м. Далее используем номограмму приведенную в Приложении (рис. П1): Проведем линию от точки 9 бар расположенной на линии давления через точку, соответствующую значению 0,24 кПа/м, на линии перепадов давления до пересечения с контрольной линией в точке X. Соединим точку X с точкой 0,28 м³/с (16800/1000/60=0,28) прямой линией до пересечения с линией, на которой отложены значения размера трубы. Это происходит в точке равной 61 мм, т.е. минимальный внутренний диаметр трубы, которую можно использовать составляет 61 мм. Далее необходимо выбрать стандартные размеры трубы.

Практическая часть

1) Произвести расчет потерь давления в пневмолинии при исходных данных из таблицы 3.1. Давление в магистрали составляет 10 бар.

2) Произвести выбор диаметра труб магистрального воздухопровода при исходных данных из таблицы 3.2. Давление в магистрали составляет 8 бар.

Таблица 3.1

Исходные данные к расчету

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Внутренний диаметр трубы, мм	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80
Длина трубы, м	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55

Расход воздуха, норм. тыс.л/мин	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---------------------------------	-----	---	---	---	---	---	---	---	---	----

3) Опробовать различные варианты соединения трубопроводов и шлангов на практике.

Исходные данные к расчету (продолжение таб. 3.1)

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18
Внутренний диаметр трубы, мм	15	20	25	30	35	40	50	60
Длина трубы, м	25	35	45	55	65	75	85	95
Расход воздуха, норм. тыс.л/мин	1	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5

Таблица 3.2

Исходные данные к расчету

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Допустимый перепад по длине трубы, бар/100м длины трубы	0,1	0,1	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
Расход воздуха, норм.тыс.л/мин	1,5	2	3	4	5	6	7	8

Исходные данные к расчету (продолжение)

Вариант	9	10	11	12	13	14	15	16
Допустимый перепад по длине трубы, бар/100м длины трубы	0,2	0,22	0,25	0,3	0,32	0,35	0,4	0,5
Расход воздуха, норм.тыс.л/мин	1	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5

Контрольные вопросы:

- 1) Какие требования предъявляются к трубопроводам;
- 2) Из каких материалов могут изготавливать трубопроводы;
- 3) Как можно определить потери давления на участке пневмолинии;
- 4) Опишите последовательность выбора труб магистрального воздухопровода;
- 5) Изобразите способы соединения трубопроводов и шлангов.

Лабораторная работа №4

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ ПНЕВМОЦИЛИНДРОВ. ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ ПРЯМОГО И НЕПРЯМОГО УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМОЦИЛИНДРАМИ

Цель работы: Изучить конструкции, условные графические обозначения на схемах и особенности работы различных пневмодвигателей

Теоретический материал

Пневмоцилиндры одностороннего действия применяют в различного рода выталкивателях, в зажимных, маркировочных и других подобных устройствах. Рабочий ход в таких пневмоцилиндрах осуществляется под действием сжатого воздуха, а в исходную позицию выходное звено возвращается встроенной пружиной либо от внешней нагрузки

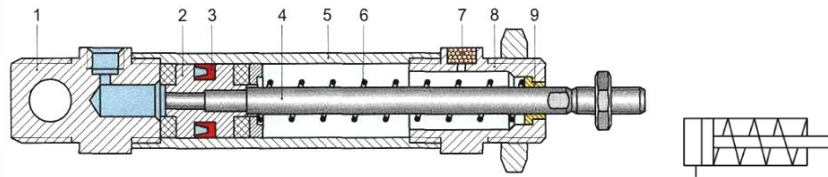


Рис. 4.1 Пневмоцилиндр одностороннего действия: 1 – задняя крышка; 2 – поршень; 3 – уплотнение; 4 – шток; 5 – корпус; 6 – пружина; 7 – отверстие с фильтром; 8 – передняя крышка; 9 – направляющая втулка

Пневмоцилиндры двустороннего действия применяют в тех случаях, когда требуется передавать рабочее усилие при линейных перемещениях в обоих направлениях.

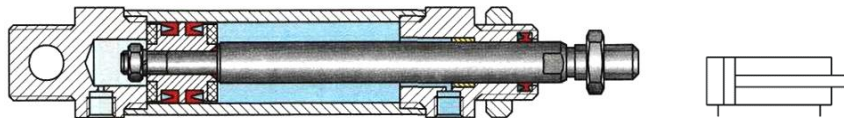


Рис. 4.2 Пневмоцилиндр двустороннего действия

Удары не только являются причиной возникновения шума, но и приводят к преждевременному износу и даже поломке элементов конструкции. Избежать преждевременного выхода из строя пневмоцилиндра можно путем установки на поршне эластичных (например, резиновых) демпферов. Однако такой способ демпфирования оказывается недостаточно эффективным, если имеют место значительные инерционные нагрузки. В таких случаях применяют пневмоцилиндры двустороннего действия с воздушным демпфированием в конце хода.

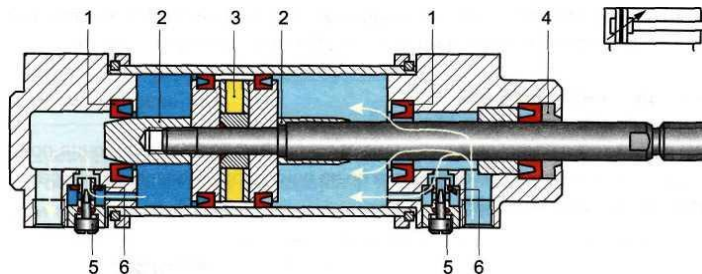


Рис. 4.3 Пневмоцилиндр двустороннего действия с регулируемым демпфированием: 1 – уплотнительные манжеты; 2 – втулки демпфера; 3 – кольцевой постоянный магнит для работы с бесконтактными датчиками; 5 – регулируемый дроссель; 6 – обратный клапан

Рабочие характеристики пневмоцилиндра

Пример 1: Требуется определить теоретический размер цилиндра, работающего при давлении 6 бар, который должен создавать зажимное усилие в 1600 Н.

Усилие на поршне при выдвигении:

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p$$

где D – диаметр поршня; p – давление.

После преобразования получаем: $D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1600}{\pi \cdot 600000}} = 0,0583 \text{ м} = 58,3 \text{ мм}$

Для данных условий должен быть выбран ближайший больший стандартный диаметр (из ряда 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 140, 160, 200, 250, 320) диаметр 63 мм.

Пример 2: Цилиндр с диаметром 63 мм и ходом поршня 500 мм работает при давлении 6 бар. Каково потребление воздуха при 15 циклах (30 ходах) в минуту?

1,4 – эмпирический коэффициент (зависит от степени приближения процесса к изотермическому или адиабатическому).

$$Q_{\text{нц}} = 1,4 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot n \cdot \frac{(p + 1,013)}{1,013} \cdot 10^{-6} =$$

$$= 1,4 \cdot \frac{\pi \cdot 63^2}{4} \cdot 500 \cdot 30 \cdot \frac{(6 + 1,013)}{1,013} \cdot 10^{-6} = 453,2 \text{ нл/мин}$$

Пример 3: Пневмоцилиндр двустороннего действия диаметром 80 мм и ходом поршня 300 мм должен совершить полный ход поршня за 1 секунду. Давление подаваемого воздуха равно 7 бар. Чему равен расход воздуха в цилиндре?

Объём цилиндра

$$V = \pi D^2 / 4 \times \text{ХОД} = 3,14 \times 80^2 / 4 \times 300 = 1508160 \text{ мм}^3 = 1,51 \text{ литра.}$$

Для подсчёта объёма атмосферного воздуха при давлении 7 бар применяем закон Бойля-Мариотта: $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$

$$p_1 = (7+1) \text{ бар (абс.); } V_1 = 1,51 \text{ л; } p_2 = 1 \text{ бар (абс.).}$$

$$\text{Преобразуем: } V_2 = p_1 \cdot V_1 / p_2 \quad V_2 = (7+1) \cdot 1,51 / 1$$

$$V_2 = 12,08 \text{ нормальных литров.}$$

Таким образом, расход воздуха в цилиндре: 12,08 норм.л/с или 724,8 норм.л/мин.

Практическая часть

1) Изучить пневмоцилиндры одностороннего и двустороннего действия и собрать простейшие схемы управления пневмоцилиндрами на стенде (рис. 4.4).

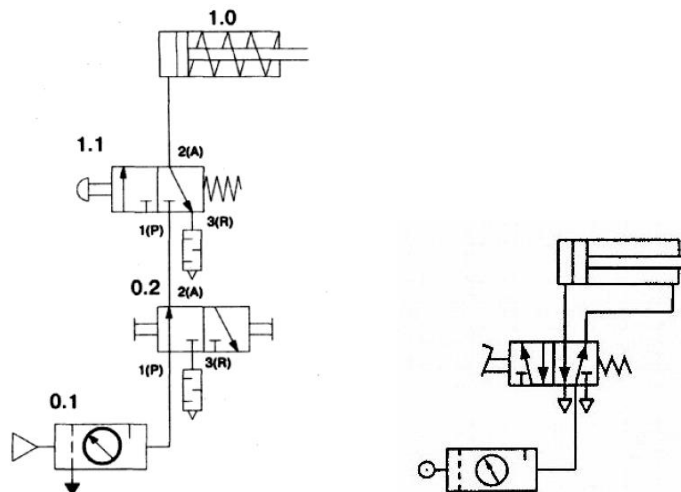


Рис. 4.4 Схемы управления пневмоцилиндрами

2) Добавить в схемы управления цилиндрами узел (узлы) регулирования скорости и опробовать их в работе (рис. 4.5)

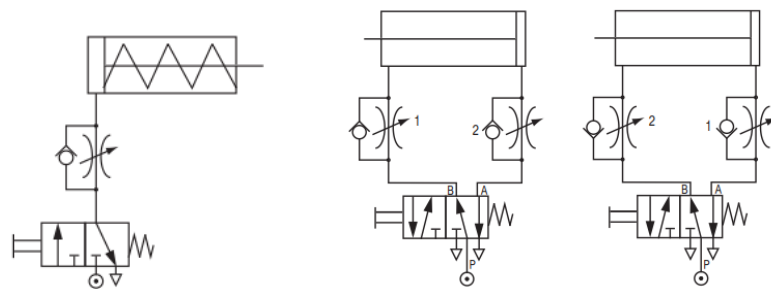


Рис. 4.5 Схемы управления пневмоцилиндрами с регулированием скорости

3) Рассчитать рабочие характеристики пневмоцилиндра

Задание 1: Определение диаметра поршня цилиндра, обеспечивающего заданное зажимное усилие исходя из данных, представленных в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Варианты исходных данных

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зажимное усилие, кгс	100	150	200	210	220	230	240	50	55	60
Давление, МПа	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	1	1	0,4	0,4	0,4

Варианты исходных данных (продолжение)

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Зажимное усилие, кгс	65	70	75	80	90	95	120	130	140	170
Давление, МПа	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Задание 2: Определение потребления (расхода) воздуха

Используя результаты, полученные в задании 1 определить потребление воздуха цилиндром с ходом штока 200 мм при 20 циклах работы в минуту.

Контрольные вопросы:

- 1) Изобразите конструкцию конкретного пневмоцилиндра и объясните его принцип действия.
- 2) Изобразите условное графическое обозначение конкретного пневмоцилиндра.
- 3) Как определить площадь поршня цилиндра?
- 4) Как определить расход воздуха, потребляемый цилиндром?
- 5) Изобразите схему управления пневмоцилиндром одностороннего и двухстороннего действия с регулированием скорости.

Лабораторная работа №5

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ ПНЕВМОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ. ПОДБОР ПНЕВМОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ

Цель работы: Изучить конструкции, условные графические обозначения на схемах и особенности работы различных пневмораспределителей

Теоретический материал

Пневматические распределители (пневмораспределители) предназначены для управления направлением движения потоков сжатого воздуха. Управление осуществляется путем изменения (при переключении) схемы соединения внутренних каналов распределителя. В табл. 5.1 представлены условные графические обозначения пневмораспределителей.

Таблица 5.1

Условные графические обозначения пневмораспределителей

Условное графическое изображение	Тип пневмораспределителя	Условное графическое изображение	Тип пневмораспределителя
	2/2 Нормально закрытый		3/3 в среднем положении закрыт
	2/2 Нормально открытый		4/3 в среднем положении закрыт
	3/2 Нормально закрытый		4/3 в среднем положении разгружен
	3/2 Нормально открытый		5/3 в среднем положении закрыт
	4/2		5/3 в среднем положении разгружен
	5/2		5/3 в среднем положении под давлением

Функциональные возможности распределителей характеризуются рядом параметров: количество рабочих каналов, количество позиций переключения, нормальная позиция, способ управления (табл. 5.2) и пропускная способность.

Таблица 5.2

Условные графические изображения различных видов управления распределителями

Условное изображение	Вид управления	Изображение
	Ручное управление обобщенный символ (поворотный переключатель, рукоятка, тяга, тумблер и т.д.)	
	Нажимная кнопка (грибовидная, выступающая, утопленная)	
	Механический толкатель (прямой толкатель, роликовый толкатель)	
	Роликовый рычаг	
	Односторонний (ломающийся) роликовый рычаг	
	Педадь	

	Рычаг	
	Электромагнит с одной обмоткой, непрямото электромагнитное управление	
	Управление посредством сжатого воздуха	
	Возвратная пружина	

Управляющие пневмолинии показаны на рис 5.1.

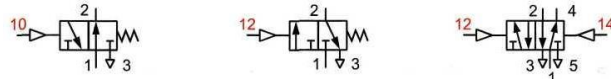


Рис. 5.1 Обозначение рабочих и управляющих пневмолиний

Первая цифра в подобном двузначном обозначении совпадает с индексом линии питания, а вторая — с индексом линии потребителя, в которую будет поступать сжатый воздух после подачи управляющего сигнала. Индекс 10 (рис. 5.1а) обозначает, что в случае поступления в эту линию сигнала управления подача сжатого воздуха потребителю прекратится (обнулится).

В зависимости от способа воздействия запорно-регулирующего элемента (ЗРЭ) на поток сжатого воздуха практически все устройства, входящие в направляющую и регулируюшую подсистему пневмоприводов, подразделяются на два больших класса: аппаратуру клапанного типа и золотникового типа (рис. 5.2).

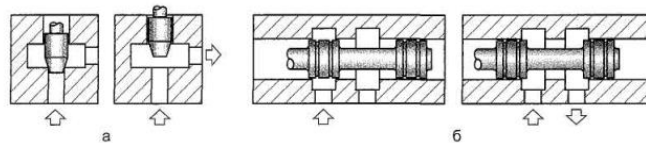


Рис. 5.2 Принцип действия запорно-регулирующего элемента: а) клапанного типа; б) золотникового типа

Моностабильные пневмораспределители

Пневмораспределители, которые переключаются в нормальную позицию посредством возвратных пружин, называют моностабильными (рис. 5.3).

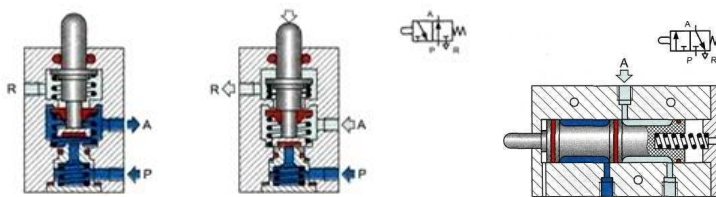


Рис. 5.3 Моностабильные распределители

Бистабильные пневмораспределители (с фиксацией положения)

Двухпозиционные пневмораспределители, которые после снятия управляющего внешнего воздействия остаются в позиции, определяемой этим воздействием, называют бистабильными (с памятью позиции последнего переключения). Возврат их в исходную позицию осуществляется после подачи противоположного по значению управляющего сигнала (рис. 5.4).

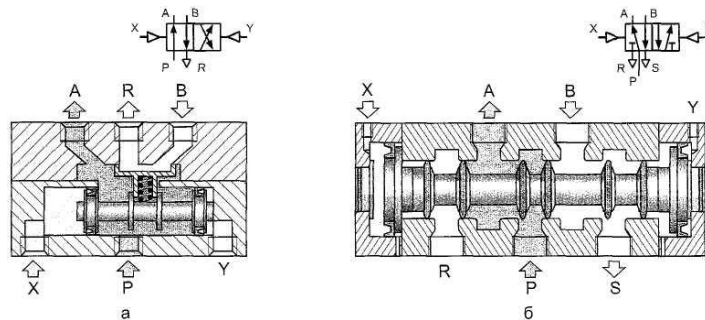


Рис. 5.4 Бистабильные 4/2- и 5/2-пневно-распределители с пневматическим управлением

Определение параметров пневмораспределителей

Выбор пневмораспределителя заключается в подборе типоразмера, удовлетворяющего требуемым параметрам: схеме коммутаций потоков, виду управления, способу монтажа, габаритным размерам, пропускной способности (расходные характеристики) и т.п. Чтобы упростить процедуру подбора пневмораспределителя, производители пневматического оборудования приводят в технической документации данные по их пропускной способности.

В настоящее время применяют три способа задания расходных характеристик.

1. Расходная характеристика выражается величиной объемного расхода Q_n [л/мин], при технических нормальных условиях ($t_n = 20^\circ\text{C}$, $p_n = 101,3$ кПа).

2. Расходная характеристика задается параметром, характеризующим сопротивление распределителя. В качестве такого параметра применяют пропускную способность K_v , представляющую собой расход [$\text{м}^3/\text{ч}$] воды, пропускаемой распределителем (или другим устройством) при перепаде давления на нем $1 \text{ кгс}/\text{см}^2$. За рубежом применяют также параметр пропускной способности C_v , представляющий собой расход воды в американских или английских галлонах за одну минуту при перепаде давления в 1 psi (фунт-сила на квадратный дюйм).

3. Расходная характеристика представляется в виде графика, отражающего зависимость объемного расхода воздуха (при нормальных технических условиях) через пневмораспределитель от перепада давления на нем при определенном давлении на входе, или серией графиков для различных давлений на входе.

Для выбора распределителя по требуемому расходу воздуха, в каталоге приведены графики расхода для различных серий распределителей. Используя эти графики можно определить, какое падение давления будет на том или ином распределителе при заданном расходе. К примеру, если при входном давлении 6 бар расход воздуха через распределитель с присоединительной резьбой G1/2 будет составлять 3000 литров в минуту, то давление на выходе распределителя будет 3,8 бар (рис. 5.5).

Падение давления составит 2,2 бара. Рекомендуемое падение давления на распределителе определяется требованиями системы, в которой работает распределитель. Чем меньше падение давления на распределителе, тем выше быстродействие всей пневматической системы.

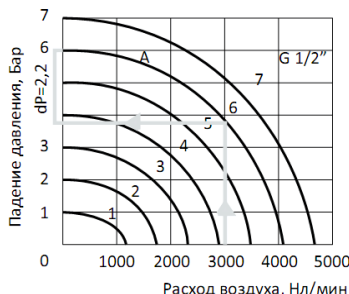


Рис. 5.5 Расходная характеристика распределителя

Практическая часть

1) Собрать и опробовать на пневмостенде следующие схемы (рис. 5.6).

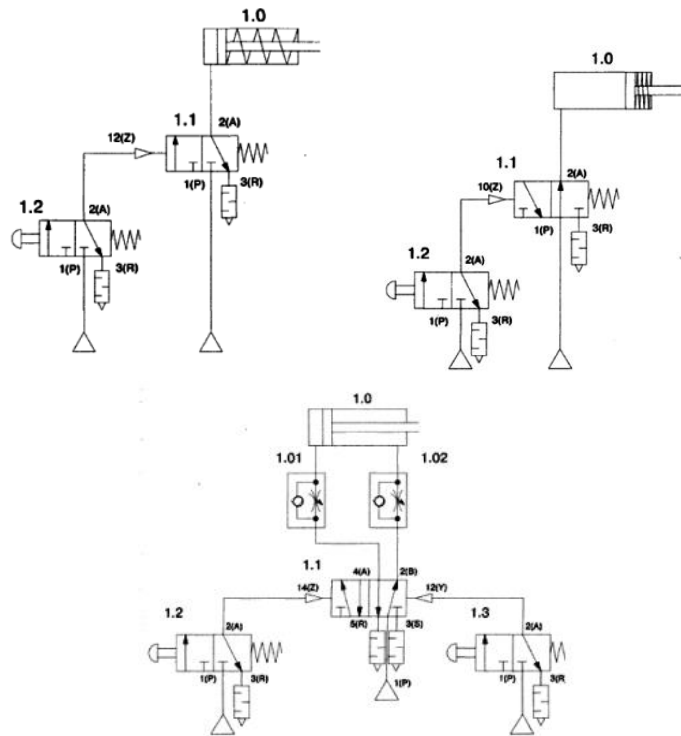


Рис. 5.6 Схемы с использованием различных распределителей для сборки на стенде

2) Изучить условие задачи и реализацию схемы, нарисовать схему в отчете и собрать на стенде.

Задача: Цилиндр двустороннего действия должен выталкивать детали из накопителя. Шток цилиндра должен полностью выдвигаться при нажатии на кнопку и втягиваться после достижения крайнего положения. Сигнал о приходе штока в крайнее положение должен поступать от концевого выключателя с управлением от рычага с роликом. Шток цилиндра должен продолжать двигаться вперед, даже если кнопка будет отпущена еще до того, как он полностью выдвинется. Скорость поршня цилиндра должна регулироваться в обоих направлениях.

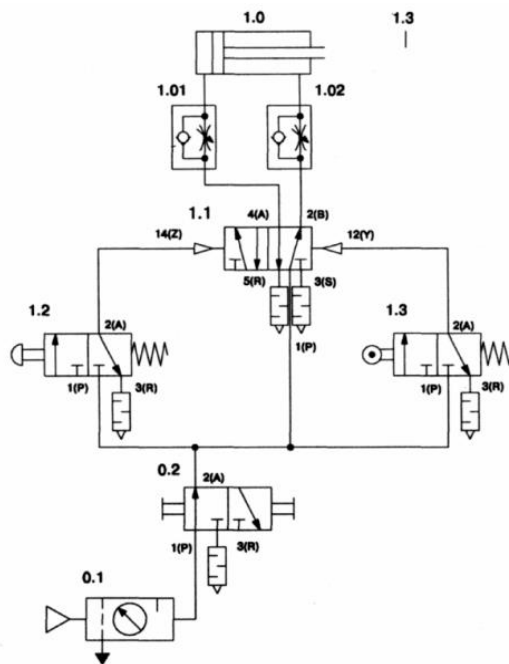


Рис. 5.7 Принципиальная схема управления пневмоцилиндром

Когда шток достигнет своей конечной позиции, то включится концевой выключатель 1.3. Если кнопка 1.2 остается при этом включенной, то переключение распределителя 1.1 невозможно. Шток остается в выдвинутом положении. Втягивание штока возможно только в том случае, если кнопка 1.2 выключится, и при этом снимется давление в управляющем канале 14(Z).

3) Используя данные из каталогов подобрать 3/2 и 5/2 распределители с пневматическим управлением для заданных в таблице условий (максимальный перепад давления на распределителе не должен превышать 1 бар). Записать шифр для заказа распределителя.

Таблица 5.3

Исходные данные для выбора пневмораспределителя

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Расход при указанном давлении, л/мин	100	150	200	210	220	230	240	50
Рабочее давление, МПа	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8	1	1	0,7

Исходные данные для выбора пневмораспределителя (продолжение)

Вариант	9	10	11	12	13	14	15	16
Расход при указанном давлении, л/мин	60	65	70	75	80	90	95	120
Рабочее давление, МПа	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Порядок подбора: 1) Перевести расход при указанном давлении в исходных данных в расход при нормальных условиях; 2) при наличии в таблицах, приведенных ниже, расхода выбрать ближайший больший по расходу; 3) при наличии в таблицах параметров C_v или K_v предварительно вычислить их по формулам приведенным ниже и выбрать из таблиц ближайший больший.

$$Q = 400 \cdot C_v \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot \Delta p} \cdot \sqrt{\frac{273}{273 + t}}$$

$$Q = 27,94 \cdot K_v \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot \Delta p} \cdot \sqrt{\frac{273}{273 + t}}$$

Выборка информации по распределителям из каталогов некоторых производителей

Распределители фирмы AGNEP (табл. 5.4)

Таблица 5.4

Характеристики пневмораспределителей AGNEP

Параметр	Размер распределителя		
	02	03	05
Резьбовое присоединение в дюймах	1/8	1/4	1/2
Расход при 6 бар при $\Delta p = 1$ бар, нл/мин	740	1200	5000

Пример записи шифра распределителя 01VP03NC02 где 01V серия, P – пневматический привод, 0 – пружинный возврат

(1 – бистабильный), 3 – схема распределителя 3/2 (5 – 5/2, 7 – 5/3), NC – функция – нормально закрытый (NO – нормально открытый, OC – нормально разгружен, PC – нормально под давлением), 02 – размер распределителя с резьбовым присоединением 1/8 дюйма.

Распределители фирмы ПГС (табл. 5.5)

Таблица 5.5

Характеристики пневмораспределителей ПГС

Модель (новое наименование)	P _{max} , бар	Эффективная площадь сечения, мм ²	C _v	Присоединение
3A110-L-06	12	12	0,64	G1/8 ^{//}
3A210-L-06	12	14	0,78	G1/8 ^{//}
3A210-L-08	12	16	0,89	G1/4 ^{//}
3A310-L-08	12	25	1,4	G1/4 ^{//}
3A310-L-10	12	30	1,68	G3/8 ^{//}
3A410-L-15	12	50	2,79	G1/2 ^{//}

Распределители фирмы PNEUMAX (табл. 5.6)

Таблица 5.6

Характеристики пневмораспределителей PNEUMAX

Серия	Масса распределителя, кг	Расход при P ₁ =6 бар при ΔP=1 бар, нл/мин	Условный проход, мм	Присоединение
104 и 105	0,025 и 0,09; 0,1	120	2,5	Ø4, M5
228	0,11; 0,13	540	6	G1/8 ^{//}
214/2	0,31; 0,37	1030	7	G1/4 ^{//}
224	0,37; 0,45	1360	8	G1/4 ^{//}
212	1,11; 1,39	3500	15	G1/2 ^{//}
211	3,3; 4,2	6500	20	G1 ^{//}

В таблице представлены серии для индивидуального монтажа.

Распределители фирмы SMC (табл. 5.7)

Таблица 5.7

Характеристики пневмораспределителей SMC

Модель распределителя	Масса распределителя, кг	Расход в линиях P→A/B при P ₁ =6 бар при ΔP=1 бар, нл/мин	Расход в линиях A/B →EA/EB при P ₁ =6 бар при ΔP=1 бар, нл/мин	Присоединение
VFA1120-M5	0,097	133	137	M5x0,8
VFA1120-01	0,093	184	133	(P A B) G1/8 ^{//} (EA EB) M5x0,8
VFA3120-01	0,135	805	712	G1/8 ^{//}
VFA3120-02	0,131	1058	798	(P A B) G1/4 ^{//} (EA EB) G1/8 ^{//}
VFA5120-02	0,294	2021	2282	G1/4 ^{//}
VFA5120-03	0,280	2466	2915	G3/8 ^{//}

В модели распределителя: первая цифра – серия (1000, 3000, 5000), вторая цифра – тип управления (1-одностороннее пневмоуправление), третья цифра – тип корпуса, цифра после дефиса – шифр размера порта присоединения для линий А, В. Кроме указанных цифр далее в шифре могут указывать дополнительные особенности конструкции.

Характеристики пневмораспределителей ПНЕВМОАППАРАТ

Наименование изделия	Присоединение, дюйм	Пропускная способность K_v , не менее $m^3/ч$
3P-4-213-3 5P-4-213-3	G1/8"	0,75
3P-6-213-3 5P-6-213-3	G1/4" (G1/8" выхлопные)	1,04
3P-10-213-3 5P-10-213-3	G3/8" (G1/4" выхлопные)	1,95
3P-16-213-3 5P-16-213-3	G1/2"	3,26

Характеристики пневмораспределителей Hafner-Pneumatik Kraemer MG

Модель	Размер порта	Расход воздуха, нл/ мин
P 311501; P 511501	G 1/8"	650
P 311701; P 511701	G 1/4"	1250
P 311801; P 511801	G 1/4"	1450
P 311101; P 511101	G 3/8"	2250
P 311121; P 511121	G 1/2"	3000
P 311121 NPT; P 511121 NPT	NPT 1/4"	3000
P 311181; P 511181	G 3/4"	6000

Контрольные вопросы

1. Для чего необходима регулирующая пневмоаппаратура?
2. Каков принцип действия 3/2-пневмораспределителя?
3. Каков принцип действия 5/2-пневмораспределителя?
4. В чем состоит отличие моностабильного и бистабильного пневмораспределителей?
5. По какому принципу подбирается пневмораспределитель?
6. Как связан расход с другими параметрами пневмораспределителей, характеризующих их пропускную способность?
7. Изобразите варианты конструкций распределителей клапанного и золотникового типа.

Лабораторная работа №6

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ ПНЕВМОКЛАПАНОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ПНЕВМОАВТОМАТИКИ. ПОСТРОЕНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СХЕМ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЛОГИКИ

Цель работы: Изучить конструкции, условные графические обозначения на схемах и особенности работы различных пневмоклапанов.

Теоретический материал

Запорные элементы

К запорным элементам в пневмоавтоматике относятся устройства, обеспечивающие полное перекрытие потока сжатого воздуха, – обратные клапаны, пневмозамки, вентили.

Обратные клапаны, которые при подаче управляющего сигнала на встроенный в их корпус приводной механизм могут быть принудительно открыты, называются пневмозамками (рис. 6.1).

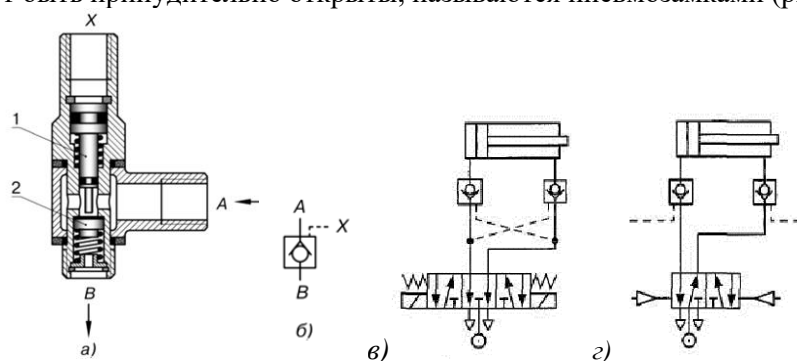


Рис. 6.1 Конструкция пневмозамка (а) и его условное графическое обозначение на схемах (б), примеры его применения (в, з)

Через пневмозамок воздух свободно проходит из канала А в канал В (рис. а), тогда как в обратном направлении – только при наличии сигнала в канале управления X. При этом во втором случае шток 1 мини-цилиндра, площадь поршня которого больше площади клапана 2, принудительно снимает клапан 2 с седла, тем самым обеспечивая возможность протекания воздуха из канала В в канал А.

Обычно пневмозамки применяют в системах позиционирования, т.е. для останова и удержания пневмоцилиндров в любом промежуточном положении, а также для предотвращения самопроизвольного опускания штоков вертикально установленных пневмоцилиндров.

Клапаны быстрого выхлопа

Пневмоклапаны быстрого выхлопа предназначены для увеличения быстродействия пневматического привода путем уменьшения сопротивления выхлопной линии (рис. 6.2).

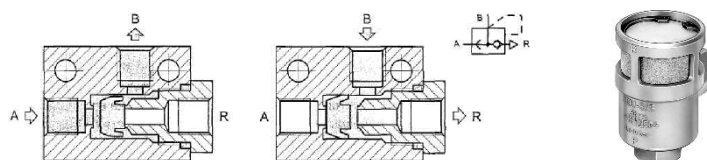


Рис. 6.2 Клапан быстрого выхлопа (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

Логические элементы

Элемент «ИЛИ»

Логический клапан "ИЛИ" (рис.) подает сигнал на выход, в случае наличия давления на входе А ИЛИ на входе В.

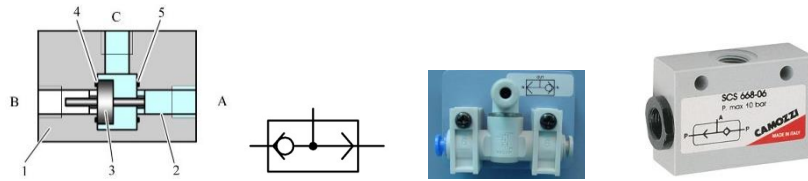


Рис. 6.3 Элемент «ИЛИ»: 1 – корпус; 2 – канал; 3 – запорный элемент; 4, 5 – седла

В корпусе 1 выполнен сквозной канал 2, в котором установлен подвижный запорный элемент 3. Прижимаясь к поверхностям (седлам) 4 или 5, запорный элемент перекрывает один из входов, и позволяет воздуху из противоположного канала поступать на выход клапана. В случае наличия давления на входе А запорный элемент прижмется к седлу 5, и перекроет канал В, воздух будет проступать на выход С.

Если давление будет присутствовать в двух каналах А и В, то под действием большего давления запорный элемент переместится и перекроет один из каналов. Сжатый воздух из канала с большим давлением поступит на выход С.

В случае равенства давления в обоих каналах запорный элемент останется в промежуточном положении, сжатый воздух будет поступать на выход из обоих каналов.

Элемент «И»

Элемент «И» подает сигнал на выход только при наличии воздуха под давлением на входе А и на входе В (рис. 6.4).

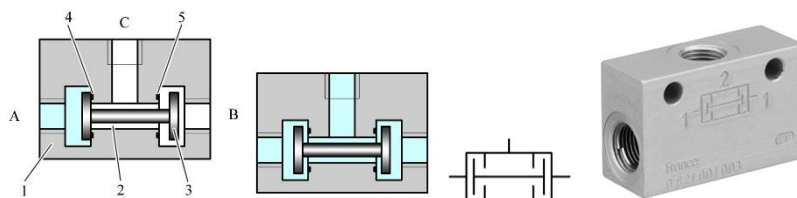


Рис. 6.4 Элемент «И»: 1 – корпус; 2 – канал; 3 – золотник; 4, 5 – седла

Клапан выдержки времени

Пневмоклапаны выдержки времени (рис. 6.5) предназначены для изменения направления или пуска и останова потока сжатого воздуха через заданный промежуток времени после подачи управляющего сигнала.

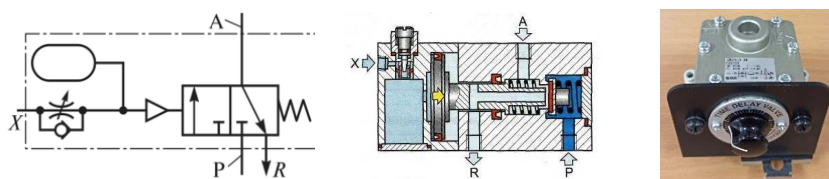


Рис. 6.5 Принцип действия, устройство и внешний вид клапана выдержки времени

Современные конструкции таких пневмоклапанов содержат инерционное звено, состоящее из пневматической емкости и дросселя, пневмоклапана последовательности и пневматического распределителя, встроенных с общим корпусом.

Практическая часть

- 1) Изучить условия, указанные в примерах и их реализацию.
- 2) Собрать схемы и опробовать функции клапанов на пневмостенде, изобразить схемы в отчете.

Логическая функция "И"

Пример: Шток поршня цилиндра 1.0 должен выдвигаться только в том случае, если деталь установлена на станок, защитное ограждение опущено и оператором нажата кнопка распределителя. После отпускания кнопки распределителя шток цилиндра возвращается в исходное положение.

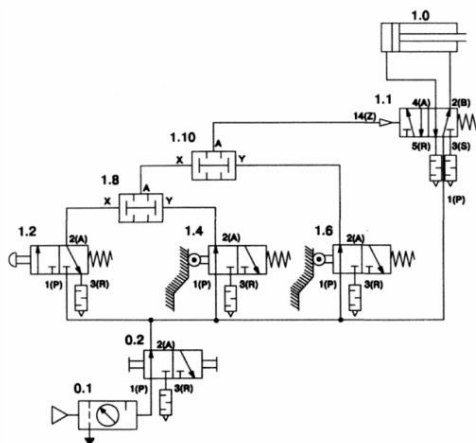


Рис. 6.6 Использование логической функции «И»

Логическая функция «И» выходных сигналов распределителей 1.2, 1.4 и 1.6 реализуется на выходе двух клапанов «И» 1.8 и 1.10.

Логическая функция «ИЛИ»

Пример: Для подачи деталей из накопителя используется цилиндр двустороннего действия. Шток поршня цилиндра выдвигается полностью при нажатии на кнопку или на ножную педаль. При достижении крайнего положения шток должен начать втягиваться.

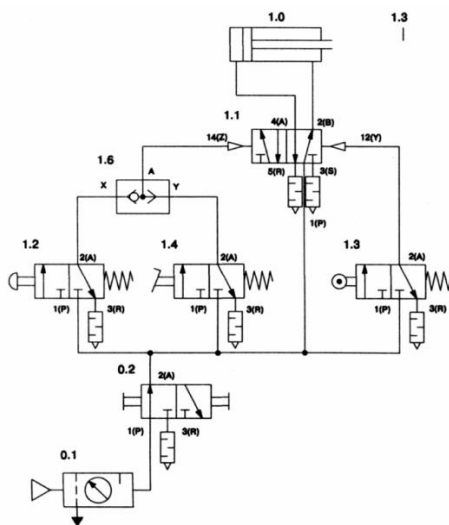


Рис. 6.7 Использование логической функции «ИЛИ»

Логическое условие «ИЛИ» выходных сигналов распределителей 1.2 и 1.4 реализуется с помощью перекидного клапана 1.6.

Когда шток цилиндра полностью выдвинется, то включится концевой выключатель 1.3. Тогда поступит сигнал в канал управления 12(Y) распределителя 1.1. Распределитель 1.1 переключится, и его шток втянется.

Клапан быстрого выхлопа

Пример: Инструмент приводится в движение штоком цилиндра двустороннего действия. Для повышения скорости выдвигания штока в схеме использован клапан быстрого выхлопа. Скорость втягивания штока поршня должна быть регулируемой. Если какая-либо из кнопок будет отпущена, шток цилиндра медленно возвратится в исходное положение.

В исходном положении лежащая деталь воздействует на распределитель с роликовым рычагом 1.4. Клапан быстрого выхлопа 1.02 изолирован от атмосферы, штоковая полость цилиндра находится под давлением, шток остается во втянутом положении.

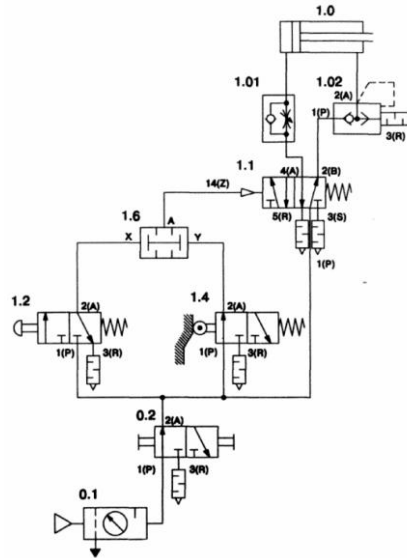


Рис. 6.8 Использование клапана быстрого выхлопа

При нажатии на кнопку 1.2 к обоим входам (X) и (Y) клапана двух давлений 1.6 поступят сигналы. Распределитель 1.1 переключается, в поршневую полость цилиндра 1.0 поступает воздух под давлением и шток выдвигается. При переключении распределителя 1.1 со входа 1(P) клапана быстрого выхлопа 1.02 снимается давление.

Клапан выдержки времени

Пример: Для прижимания склеиваемых деталей друг к другу используется цилиндр двустороннего действия. При нажатии на кнопку шток цилиндра выдвигается. Когда пресс прижмет деталь, он должен остаться в этом положении в течение 6 секунд, после чего шток должен автоматически вернуться в исходное положение. Начало нового цикла возможно только при условии полного втягивания штока и сохранении этого положения в течение 5 секунд. За это время склеенные детали вынимаются из пресса, а на их место устанавливаются новые.

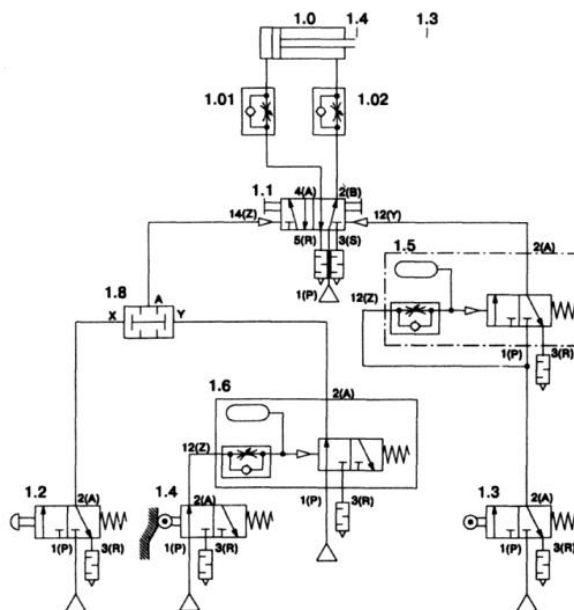


Рис. 6.9 Использование клапана выдержки времени

В исходном положении распределитель с роликовым рычагом 1.4, находящийся под воздействием штока, включен и переключен клапан выдержки времени 1.6, т.е. на его выходном канале 2(A) имеется

сигнал. Условиями старта системы являются: распределитель с роликовым рычагом 1.4 включен; клапан выдержки времени 1.6 переключен; кнопка пуска 1.2 включена.

Контрольные вопросы

- 1) Назначение, условное графическое изображение и принцип работы рассмотренных в работе клапанов;
- 2) Применение рассмотренных клапанов в пневматических схемах.

Лабораторная работа №7

ИЗУЧЕНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКИХ СХЕМ

Цель работы: Изучить конструкции, условные графические обозначения на схемах и особенности работы распределителей с электроуправлением, изучить особенности построения электропневматических схем

Теоретический материал

Независимо от элементной базы управляющих систем (релейно-контактная или микропроцессорная техника), в силовой части привода применяют пневматические распределители с электромагнитным управлением. Работа подобных пневмораспределителей основывается на свойстве находящихся под напряжением электромагнитных катушек втягивать расположенный в них якорь. Запорно-регулирующий элемент в таких аппаратах располагают непосредственно на торцах якоря, который помещается в гильзу, ввинченную в корпус. Снаружи гильза охватывается приводной электромагнитной катушкой (рис. 7.1).

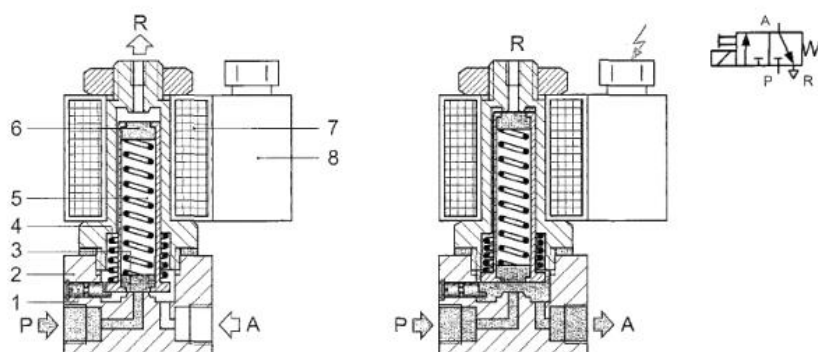


Рисунок 7.1 – 3/2-пневмораспределитель с электромагнитным управлением и ручным дублированием (конструкция и условное графическое обозначение на схемах): 1 – поворотное устройство; 2 – корпус; 3, 6 – седло клапана; 4 – пружина; 5 – якорь; 7 – катушка; 8 – коннектор

Пневмораспределители с электромагнитным приводом имеют, как правило, ручное дублирование, используемое обычно при пусконаладочных работах или при поиске отказа (если распределитель срабатывает от элемента ручного управления, это свидетельствует о том, что не работает катушка).

Бистабильные пневмораспределители с электропневматическим управлением представляют собой комбинацию двух пилотных электроуправляемых 3/2-пневмораспределителей 1 и базового распределителя 2 с двусторонним пневматическим управлением (рис. 7.2).

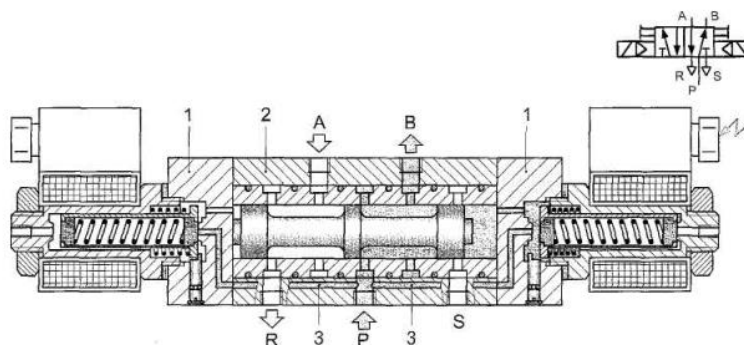


Рисунок 7.2 – Бистабильный 5/2-пневмораспределитель с электропневматическим управлением (конструкция и условное графическое обозначение на схемах): 1 – электроуправляемый 3/2-пневмораспределитель; 2 – базовый распределитель с двусторонним пневматическим управлением; 3 – канал

При подаче напряжения на одну из электромагнитных катушек срабатывает соответствующий пилотный распределитель, пропуская сжатый воздух к торцу ЗРЭ основного распределителя, что приводит к переключению последнего.

Для управления пневмоцилиндрами одностороннего действия применяются схемы прямого и непрямого управления, основанные на использовании трехлинейных двухпозиционных электропневмораспределителей (ЭПР) с односторонним электромагнитным управлением и пружинным возвратом. Основные виды контактов, применяемые в электропневматических схемах представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Обозначения электрических контактов

Вид контакта	Обозначение
Нормально открытый контакт	
Нормально закрытый контакт	
Нормально открытая кнопка с фиксацией	
Конечный механический выключатель	
Конечный механический выключатель активированный в данный момент	

Схема прямого управления представлена на рис. 7.3а. При нажатии на кнопку S1 замыкаются её электрические контакты 3, 4 и запитывается обмотка 1Y1 электромагнита электропневмораспределителя 1.1. (рис. 7.3а). Электромагнит срабатывает, ЭПР переключается, вызывая выдвижение штока. Отпускание кнопки приводит к разрыву цепи. Напряжение на обмотке электромагнита пропадает, ЭПР возвращается в исходную позицию, шток пневмоцилиндра под воздействием пружины втягивается.

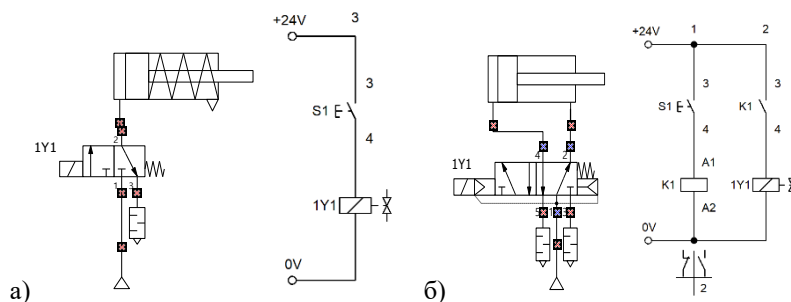


Рис. 7.3 – Принципиальные пневматическая и электрическая схемы прямого управления пневмоцилиндром одностороннего действия (а) и принципиальные пневматическая и электрическая схемы непрямого управления пневмоцилиндром двустороннего действия (б)

Принципиальные схемы управления пневмоцилиндрами двустороннего действия (рис. 7.3б) отличаются от схем управления пневмоцилиндрами одностороннего действия тем, что там используется пятилинейный двухпозиционный электропневмораспределитель (рис. 7.3б).

Для обеспечения требуемых перемещений штоков пневмоцилиндров при выполнении различных технологических задач часто необходимо комбинировать сигналы от нескольких элементов управления с использованием логических функций. Например, чтобы обеспечить выдвижение штока пневмоцилиндра при нажатии на одну из двух пусковых кнопок S1 или S2, расположенных в различных местах, их подключают параллельно друг другу (рис. 7.4, б), то есть используется электрический логический блок «ИЛИ». Если ни одна из кнопок не нажата, ЭПР 1.1 остается в исходной позиции. Шток пневмоцилиндра втянут. Если, по крайней мере, одна из кнопок нажата или нажаты обе кнопки S1 и S2, ЭПР переключается. Шток пневмоцилиндра выдвигается. Наконец, когда обе кнопки отпущены, ЭПР возвращается в исходную позицию. Шток пневмоцилиндра втягивается.

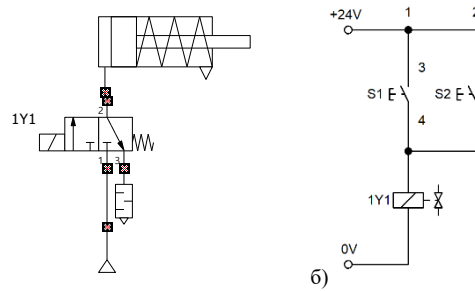


Рис. 7.4. Принципиальная пневматическая (а) и электрическая (б) схема прямого управления пневмоцилиндром одностороннего действия с использованием логического блока «ИЛИ» на базе двух параллельно подключенных контактных пар

В том случае, когда шток пневмоцилиндра должен двигаться только при одновременном нажатии на обе кнопки S1 и S2, контакты 3 и 4 этих кнопок подключаются последовательно друг за другом и образуют логический блок «И».

Схемы, представленные на рис. 7.5, обеспечивают многократное выполнение рабочего цикла. В исходном положении шток пневмоцилиндра втянут и активирован магнитный датчик В1.

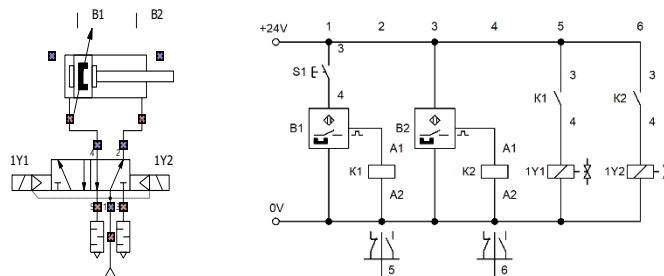


Рис. 7.5 Схема пневматическая (а) и электрическая (б) пневмопривода для многократного выполнения в автоматическом режиме рабочих циклов

Если нажать кнопку S1, запитывается катушка реле K1, замыкается контакт K1 и ток поступает на катушку 1Y1 электромагнита ЭПР. Он переключается и шток пневмоцилиндра выдвигается. При достижении штоком крайнего выдвинутого положения срабатывает магнитный датчик В2, запитывается катушка реле K2, замыкается её контакт K2, и ток поступает на катушку 1Y2 электромагнита ЭПР, который переключается в исходное положение, и шток пневмоцилиндра втягивается. Если кнопка S1 останется нажатой, после полного втягивания штока и срабатывания В1 начнется новый цикл работы. Если же кнопка S1 не нажата, шток останется в крайнем втянутом положении.

Практическая часть

- 1) Собрать на стенде изученные схемы (рис. 7.3, 7.5);
- 2) Изобразить схему, представленную на рис. 7.6 с двумя датчиками магнитного типа (рис. 7.7) и описать её принцип действия, собрать схему на стенде;

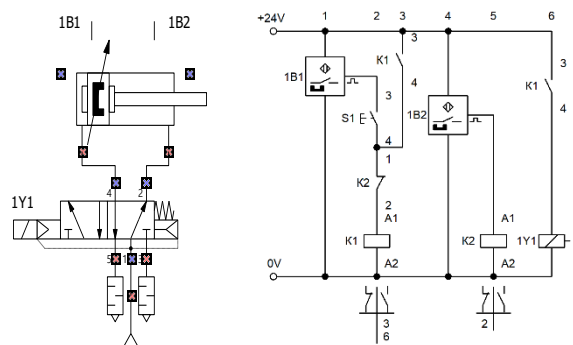


Рис. 7.6 Управление пневмоцилиндром с использованием бесконтактных датчиков положения

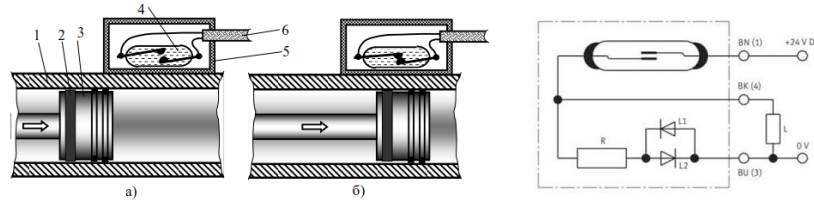


Рис. 7.7 Применение геркона в качестве датчика положения:

а – поршень вне зоны чувствительности геркона, б – поршень в зоне чувствительности геркона, 1 – цилиндр; 2 - магнитное кольцо (вставка); 3 – поршень; 4 – геркон; 5 - корпус геркона; 6 - вывод электрических контактов

3) Собрать на стенде схему с задержкой втягивания штока. При нажатии на кнопку S1 шток выдвигается. Когда он достигает крайнего положения, срабатывает магнитный датчик 1B2. Ток течет по обмотке реле K2. Но контакт K2 остается разомкнутым, пока не истечет заданное время. Затем контакт замыкается, и шток втягивается.

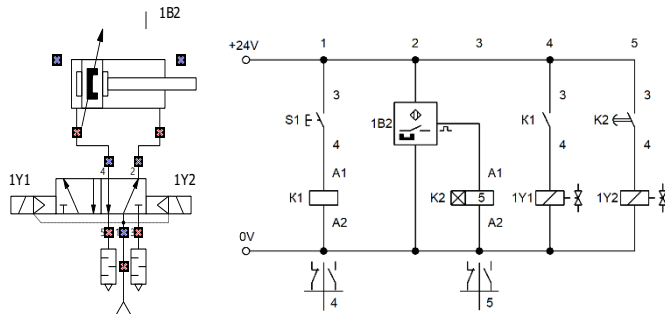


Рис. 7.8 Управление пневмоцилиндром с использованием реле времени

4) Изобразить и собрать на стенде схему с датчиком давления. Пусть, например, пневматический цилиндр используется в приводе устройства для клеймения деталей, и для получения нормального оттиска без разрушения детали необходимо обеспечить определенное усилие на штоке. Пуансон, приводимый в действие штоком, перемещается в направлении детали при нажатии кнопки. При достижении некоторого положения, определяемого положением детали, шток должен развить некоторое усилие в направлении детали, то есть на поршень должно действовать вполне определенное давление сжатого воздуха.

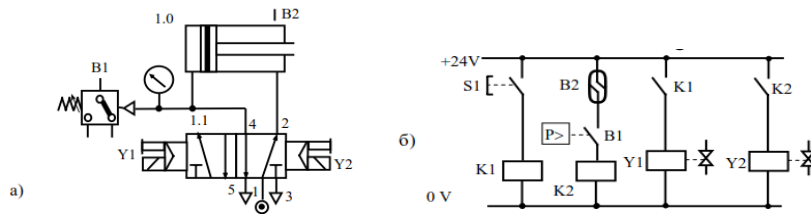


Рис. 7.9 Управление пневмоцилиндром с использованием датчика давления: а – принципиальная пневмосхема управления; б – электрическая схема управления

Для сборки лабораторных схем используются распределители представленные на рис 7.10.

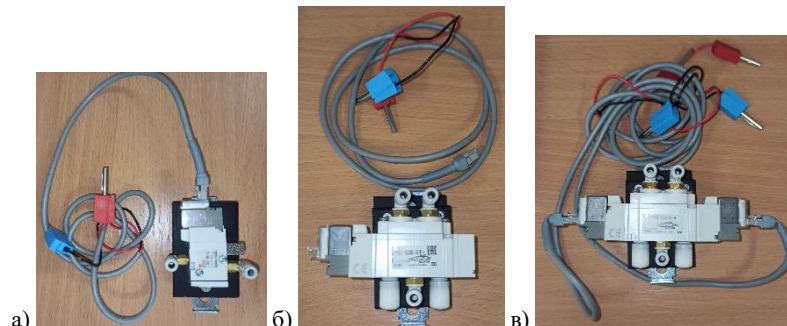


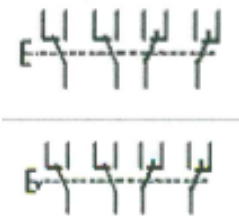

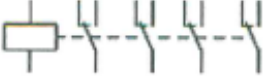

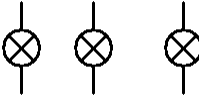

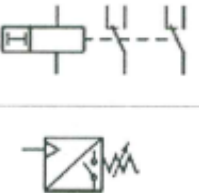


Рис. 7.10 Пневмораспределители с электроуправлением: а – 2/3; б – 5/2 моностабильный; в – 5/2 бистабильный

Для сборки схем на стенде используется блок из трех реле, блок из трех кнопок и блок индикации (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Блоки для сборки электропневматических схем

Изображение	Обозначения на схемах	Описание
	<p>+ 24В</p> <p>0В</p>	<p>Блок питания постоянного тока 24 В</p>
		<p>Кнопка электрическая без фиксации</p> <p>Кнопка электрическая с фиксацией</p>
		<p>Блок реле</p>
		<p>Блок индикации</p>
		<p>Реле выдержки времени</p> <p>Реле давления</p>

Контрольные вопросы

- 1) Как обозначаются кнопки и конечные выключатели механического и магнитного типа на электрических схемах?
- 2) Каково назначение реле и какие они бывают?
- 3) В чем различие между электропневматическим распределителем с прямым и пилотным управлением?

Приложение

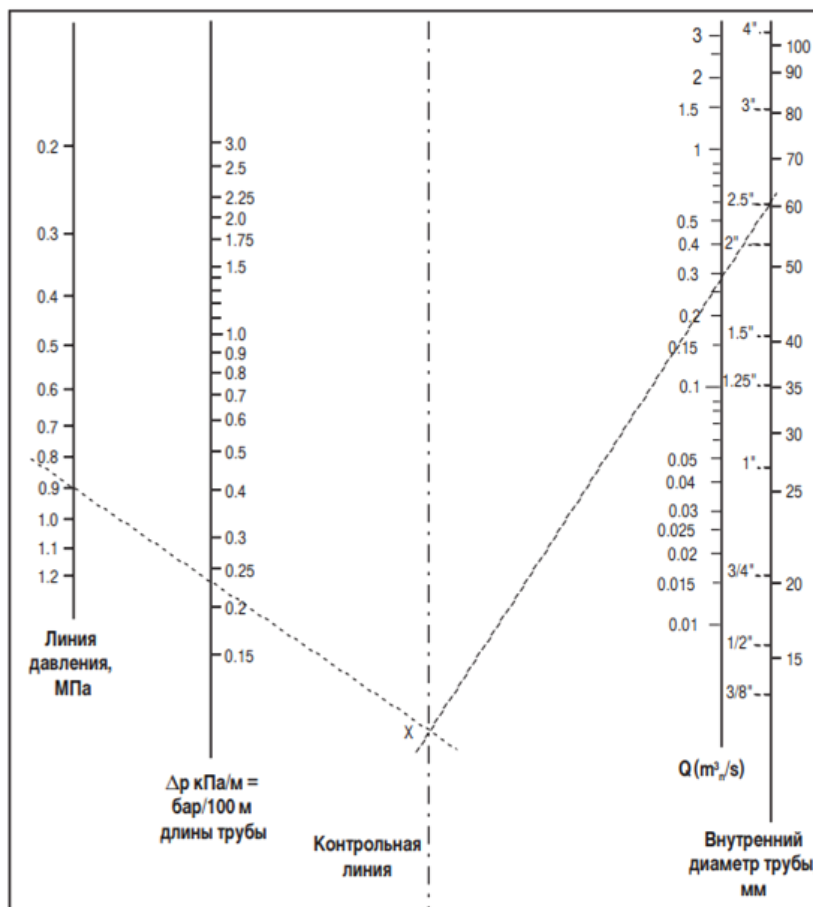


Рис. П1 Номограмма для определения диаметра магистральной трубы

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Вопросы для самоконтроля по дисциплине

«Пневматика, пневматические устройства и системы»

1. Область применения сжатого воздуха. Свойства сжатого воздуха.
2. Газовые законы. Уравнение Бернулли для газов.
3. Дросселирование газов. Истечение газов из резервуаров.
4. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Адиабатные и изотермические процессы.
5. Основные требования безопасности при использовании пневмосистем.
6. Области применения пневматических систем. Состав элементов.
7. Основные рабочие элементы подсистемы производства сжатого воздуха.
8. Подготовка сжатого воздуха. Состав блоков. Классы чистоты воздуха. Основные элементы. Обозначения на схемах.
9. Циклограмма типового пневмопривода.
10. Виды систем распределения сжатого воздуха. Построение магистралей. Расчет простых и сложных трубопроводов.
11. Неразъемные соединения трубопроводов. Способы получения неразъемных соединений.
12. Фланцевые соединения трубопроводов. Муфтовые соединения трубопроводов. Бугельные соединения трубопроводов.
13. Структура пневматических систем.
14. Основные параметры пневматических устройств (условный проход, диапазон давлений, расходная характеристика). Рабочее давление и расход сжатого воздуха пневмосистем.
15. Поршневые пневмодвигатели (пневмоцилиндры одностороннего и двустороннего действия).
16. Мембранные пневмоцилиндры.
17. Пневмоцилиндры с пневматическим торможением (демпфированием).
18. Пневмоцилиндры с фиксатором штока. Конструкция. Обозначение на схемах.
19. Поршневые позиционеры.
20. Сдвоенные пневмоцилиндры, пневмоцилиндры с гибким штоком, другие конструкции пневмоцилиндров.
21. Расчет диаметра поршня пневмоцилиндра.
22. Расчет потребления воздуха пневмоцилиндром.
23. Монтаж пневмоцилиндров. Способы защиты штока пневмоцилиндра от проворота.
24. Поворотные пневмодвигатели.
25. Шестеренные пневмомоторы. Пластинчатые (ротационные пневмомоторы).
26. Радиально-поршневые пневмомоторы. Аксиально-поршневые пневмомоторы.
27. Турбинные пневмомоторы.
28. Специальные пневматические исполнительные устройства (цанговые зажимы, пневматические захваты, вакуумные захваты).
29. Пневмовытеснители и пневмогидропреобразователи
30. Пневматические распределители (назначение, принцип действия, условные обозначения пневмораспределителей на схемах).
31. Клапанные и золотниковые пневмораспределители. Конструкция. Достоинства и недостатки.
32. Способы управления пневмораспределителями. Обозначение на принципиальных схемах (условные графические изображения).
33. Индексация рабочих и управляющих линий пневмораспределителей.

34. Моностабильные пневмораспределители.
 35. Бистабильные пневмораспределители.
 36. Пневмораспределители с электроуправлением.
 37. Прямое и пилотное управление переключением распределителей.
 38. Способы монтажа пневмораспределителей и другой пневмоаппаратуры.
 39. Графики расхода пневмораспределителей. Применение при выборе типоразмеров пневмораспределителей.
 40. Прямое управление пневмоцилиндрами одностороннего и двустороннего действия.
 41. Непрямое (пневматическое) управление пневмоцилиндрами одностороннего и двустороннего действия.
 42. Пилотное управление пневмоцилиндрами.
 43. Обратные клапаны и пневмозамки.
 44. Регулирование скорости движения исполнительных механизмов.
 45. Пневмоглушители и клапаны быстрого выхлопа.
 46. Логические элементы. Конструкция. Примеры применения.
 47. Клапан выдержки времени.
 48. Электропневматические схемы. Принципы построения. Основные элементы. Пример схемы прямого и непрямого управления пневмоцилиндрами.
 49. Применение реле времени и реле давления в электропневматических схемах
 50. Примеры реализации пневматических систем
 51. Примеры реализации пневмосхем транспортных средств
 52. Динамический анализ пневмоприводов
 53. Анализ циклограммы типового пневмопривода
 54. Осциллограммы, полученные при экспериментальном исследовании привода двустороннего действия
 55. Динамический синтез пневмоприводов
 56. Условия получения установившегося движения поршня.
 57. Выбор параметров пневмопривода
- Задачи
- Расчет конденсации влаги в процессах сжатия воздуха.
 - Расчет расхода сжатого воздуха, потребляемого пневмоцилиндром
 - Расчет диаметра трубопровода с использованием номограммы
 - Построение пневматических схем (прямого и непрямого управления пневмоцилиндрами с регулированием скорости и логическими элементами)
 - Построение электропневматических схем.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
Пневматика, пневматические устройства и
системы

для специальности
1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника»

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа дисциплины «Пневматика, пневматические устройства и системы» разработана для специальности 1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника».

Дисциплина «Пневматика, пневматические устройства и системы» относится к циклу специальных дисциплин. Ее изучение базируется на знании дисциплин естественнонаучного цикла (математика, физика, теоретическая механика) и цикла общепрофессиональных дисциплин (теория механизмов и машин, детали машин и основы конструирования). Дисциплина занимает одно из центральных мест в системе подготовки инженера.

Программа разработана для студентов дневной и заочной форм получения высшего образования.

Целью дисциплины является получение теоретических знаний и практических навыков в области пневматического привода и пневмоавтоматики.

Задачи учебной дисциплины:

- формирование представлений о классификации пневматических систем и оборудования;
- формирования знаний об устройстве и принципах работы различных видов пневмоустройств;
- формирования умений по выбору оборудования и методов расчета пневмосистем;
- формирование представлений о динамических характеристиках пневматических устройств;
- формирования знаний об устройстве и принципе работы различных видов измерительных приборов и датчиков пневматических систем;
- формирование представлений об основных характеристиках пневмоаппаратуры;
- формирование знаний и навыков построения схем пневмоавтоматики для различных технических приложений;
- развития профессионального кругозора и творческого мышления будущего специалиста.

В результате освоения дисциплины «Пневматика, пневматические устройства и системы» студент должен:

знать:

- основные тенденции и перспективы развития пневматических устройств и систем;
- основные элементы и схемы пневмоприводов;
- пневматические распределительные устройства, пневмоаппараты;
- измерительные приборы и инструмент.

уметь:

- рассчитывать основные параметры трубопроводов;
- проводить подбор пневмоаппаратов для заданных условий применения;

- проводить динамический синтез типового двухстороннего пневмопривода;
- проводить динамический анализ пневмопривода, нагруженного постоянными силами.

владеть:

- навыками расчета основных параметров пневмосистем;
- навыками подбора пневмоаппаратуры и проектирования систем с учетом характеристик пневмоаппаратов;
- составления типовых схем автоматического управления технологическими процессами с использованием пневмоавтоматики.

Освоение данной учебной дисциплины обеспечивает формирование следующих компетенций:

- БПК-17. Владеть методикой анализа пневмосистем и расчета параметров пневмопривода; методикой расчета потерь давления на трубопроводах
- БПК-18. Быть способным проводить испытания пневмоприводов и пневмосистем

Согласно учебным планам на изучение учебной дисциплины отведено:

- для очной формы получения высшего образования – всего 120 часов, из них аудиторных – 68. На курсовую работу отводится 40 часов самостоятельной работы;
- для заочной формы получения высшего образования – всего 120 часов, из них аудиторных – 18. На курсовую работу отводится 40 часов самостоятельной работы.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено ниже.

Таблица 1.

Очная форма получения высшего образования					
Курс	Се- местр	Лекции, ч.	Лаборатор- ные занятия, ч.	Практиче- ские занятия, ч.	Форма текущей ат- тестации
2	4	51	17		Защита курсовой работы, зачет

Таблица 2.

Заочная форма получения высшего образования, интегрированного со средним специаль- ным образованием					
Курс	Се- местр	Лекции, ч.	Лаборатор- ные занятия, ч.	Практиче- ские занятия, ч.	Форма текущей ат- тестации
3	5	10	4	4	Защита курсовой работы, зачет

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ГАЗАХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Тема 1.1 Понятие газа, особенности сжатого воздуха, основные законы и уравнения потока газа. Основные требования безопасности при использовании пневмосистем

Газы, применяемые в различных областях науки и техники. Состав и физические свойства сухого воздуха, загрязнения воздуха, влажность воздуха, давление воздуха. Расчет конденсации влаги в процессах сжатия воздуха.

Газовые законы (изотермический, изобарный, изохорный). Адиабатные и изотермические процессы. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Расход, коэффициент расхода. Пропускная способность пневмоаппаратов. Уравнение Бернулли для газов. Дросселирование газов. Истечение газов из резервуаров.

Основные требования безопасности при использовании пневмосистем.

Тема 1.2 Структура пневматической системы. Достоинства и недостатки пневмосистем

Основные подсистемы и устройства пневматических систем. Сравнение характеристик пневматических систем с механическими, гидравлическими и электрическими.

Тема 1.3 Области применения пневматических систем

История развития и современное состояние пневматических систем. Применение пневмосистем для транспортировки сыпучих материалов (угольная пыль, цемент, песок, зола, щепа, зерно, порошки в пищевой промышленности и т.д.).

Пневматическая разгрузка. Состав элементов систем пневмотранспорта (вакуумные насосы и компрессоры, материалопроводы, рукава, вибрационные устройства, переключатели потоков, фильтры и др.). Пневмопочта.

Применение пневматических систем на транспортных средствах. Пневмосистемы автомобилей, автобусов и троллейбусов, поездов.

Применение пневматического инструмента.

Пневматические системы в горнодобывающей и металлургической отрасли, пневматические системы в машиностроении. Пневматические системы в пищевой промышленности. Пневматические системы в медицине. Автоматизация технологических процессов с использованием пневмосистем.

Тема 1.4 Основные элементы пневмосистем. Связь функций элементов пневматических систем с обозначением их на принципиальных схемах

Назначение основных элементов пневмосистем. Обозначение элементов пневмосистем на принципиальных схемах. Логика построения условных графических обозначений пневмоэлементов. Примеры элементов аналогичного функционального назначения и различной конструкции.

Раздел II. ЭЛЕМЕНТЫ И СХЕМЫ ПНЕВМОСИСТЕМ И ПНЕВМОПРИВОДОВ

Тема 2.1 Производство и распределение сжатого воздуха

Получение сжатого воздуха. Виды компрессоров. Ресиверы и пневмоаккумуляторы. Отсечные клапаны. Ограничители давления и клапаны аварийного сброса. Подготовка сжатого воздуха. Классы чистоты воздуха. Состав блоков подготовки воздуха. Клапаны подачи/сброса давления. Регуляторы давления и редукционные клапаны. Конструкции фильтров, маслораспылителей. Сушители воздуха. Клапаны плавного пуска. Распределение сжатого воздуха. Виды магистралей сжатого воздуха. Посты сжатого воздуха. Устройства отвода конденсата.

Тема 2.2 Основные понятия о трубопроводах и арматуре, расчет трубопроводов

Назначение трубопроводов. Требования, предъявляемые к трубопроводам. Типы трубопроводов в зависимости от продуктов перемещения (материалопроводы, паропроводы); в зависимости от температуры транспортируемых веществ (холодные, горячие); в зависимости от материала, из которого изготовлены и их параметры эксплуатации. Изменение длины трубопроводов в зависимости от температурных колебаний; способы ее компенсации. Опознавательный цвет трубопроводов в зависимости от транспортируемой среды.

Способы соединения трубопроводов: разъемные (на фланцах, на резьбе); неразъемные (на сварке). Фасонные части трубопроводов (отводы, переходы, тройники, крестовины, развилки). Трубопроводная арматура, ее назначение. Правила и места установки арматуры. Устройство и принцип действия кранов, вентилей, задвижек, обратных и предохранительных клапанов. Понятие о монтаже трубопроводов и арматуры.

Простые трубопроводы, сложные трубопроводы, трубопроводы с переменным расходом по пути. Принципы расчета тупиковых и кольцевых трубопроводных сетей.

Тема 2.3 Исполнительные устройства пневмоприводов

Поршневые пневмодвигатели (пневмоцилиндры одностороннего и двустороннего действия). Мембранные пневмоцилиндры. Пневмоцилиндры с пневматическим торможением (демпфированием). Пневмоцилиндры с фиксатором штока. Конструкция. Обозначение на схемах. Поршневые позиционеры. Сдвоенные пневмоцилиндры, пневмоцилиндры с гибким штоком, другие конструкции пневмоцилиндров.

Расчет диаметра поршня пневмоцилиндра. Расчет потребления воздуха пневмоцилиндром.

Монтаж пневмоцилиндров. Способы защиты штока пневмоцилиндра от проворота.

Поворотные пневмодвигатели.

Шестеренные пневмомоторы. Пластинчатые (ротационные пневмомоторы).

Радиально-поршневые пневмомоторы. Аксиально-поршневые пневмомоторы.

Турбинные пневмомоторы.

Специальные пневматические исполнительные устройства (цанговые зажимы, пневматические захваты, вакуумные захваты).

Пневмовытеснители. Пневмогидроусилители.

Мембранные шаговые пневмомоторы. Характеристики крутящего момента M , мощности N и общего КПД пневмомоторов.

Тема 2.4 Распределительная аппаратура

Пневматические распределители (назначение, принцип действия, условные обозначения пневмораспределителей на схемах). Клапанные и золотниковые пневмораспределители. Конструкция. Достоинства и недостатки.

Способы управления пневмораспределителями. Обозначение на принципиальных схемах (условные графические изображения). Индексация рабочих и управляющих линий пневмораспределителей.

Моностабильные пневмораспределители. Бистабильные пневмораспределители.

Пневмораспределители с электроуправлением. Прямое и пилотное управление переключением распределителей.

Способы монтажа пневмораспределителей и другой пневмоаппаратуры.

Графики расхода пневмораспределителей. Применение при выборе типоразмеров пневмораспределителей.

Прямое управление пневмоцилиндрами одностороннего и двустороннего действия. Непрямое (пневматическое) управление пневмоцилиндрами одностороннего и двустороннего действия.

Тема 2.5 Регулирующая и вспомогательная аппаратура, элементы пневмоавтоматики

Обратные клапаны и пневмозамки. Регулирование скорости движения исполнительных механизмов. Пневмоглушители и клапаны быстрого выхлопа. Клапан выдержки времени. Логические элементы И и ИЛИ. Конструкция. Примеры применения. Клапан выдержки времени. Логико-вычислительные элементы и струйные системы пневмоавтоматики.

Тема 2.6 Измерительные приборы и инструмент

Определение технического состояния с помощью измерительных инструментов и приборов. Использование штангенциркулей, микрометров, нутромеров метрических или штихмасов, индикаторов часового типа, рамных уровней, щупов пластинчатых.

Использование физических методов контроля технического состояния. Применение технического диагностирования.

Эксплуатация манометров и предохранительных клапанов. Эксплуатация трубопроводов и арматуры.

Тема 2.7 Примеры реализации пневмосхем

Прямое управление цилиндром. Непрямое управление цилиндром. Схемы с памятью и регулируемой скоростью цилиндра. Управление несколькими исполнительными устройствами.

Электропневматические схемы. Принципы построения. Основные элементы. Условные обозначения элементов на схемах. Пример схемы прямого и непрямого управления пневмоцилиндрами.

Применение реле времени и реле давления в электропневматических схемах.

Разработка систем управления с несколькими исполнительными устройствами.

Эскиз объекта управления. Циклограммы. Диаграммы «перемещение-шаг» и «перемещение-время». Разработка принципиальной схемы. Пример реализации схемы управления несколькими исполнительными устройствами.

Пневмосистема грузового автомобиля. Пневмосистема троллейбуса. Пневмосистема электропоезда.

Раздел III. ДИНАМИКА ПНЕВМОПРИВОДОВ

Тема 3.1 Динамический анализ пневмоприводов

Термодинамические процессы в приводах. Приводы, нагруженные постоянными и переменными силами. Сложные приводы. Сравнение экспериментальных и расчетных данных пневмоприводов.

Тема 3.2 Динамический синтез пневмоприводов

Коммуникационные линии. Приводы с установившимся и неустановившимся движением поршня. Приводы с плавной остановкой в конце хода. Методы проектирования пневмосистем.

ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

В соответствии с учебными планами специальности на курсовую работу отведено всего 40 часов самостоятельной работы.

Целью курсовой работы является освоение методики и закрепление знаний, полученных при изучении дисциплины «Пневматика, пневматические устройства и системы».

Курсовая работа является одной из важных форм обучения, т.к. она позволяет:

- систематизировать, закреплять и расширять теоретические и практические знания по специальности и применять их при решении конкретных задач;
- развить навыки самостоятельной работы;
- определить уровень подготовленности студентов.

Курсовая работа по пневматическим системам и устройствам является действенным элементом учебного процесса, способствующим закреплению, углублению, обобщению и прикладному применению знаний, получаемых студентом при изучении курса.

Написание курсовой работы рекомендуется начинать с подбора и изучения необходимых материалов и литературы. Составляется список литературы, которую планируется использовать при написании курсовой работы. После составления принципиальной схемы привода по заданным условиям, проводится исследование динамики привода с использованием методических указаний по выполнению курсовой работы.

Курсовая работа предусматривает графическую часть, выполненную на листе формата А1.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Очная форма получения высшего образования

Номер раздела, темы	Наименование раздела, темы	Количество аудиторных часов			Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		лекции	лабораторные занятия	практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7
4 семестр						
1	Основные понятия о газах под давлением и области применения пневматических систем					
1.1	Понятие газа, особенности сжатого воздуха, основные законы и уравнения потока газа. Основные требования безопасности при использовании пневмосистем.	6				
1.2	Структура пневматической системы. Достоинства и недостатки пневмосистем	2				
1.3	Области применения пневматических систем.	4				
1.4	Основные элементы пневмосистем. Связь функций элементов пневматических систем с обозначением их на принципиальных схемах.	2				
	Лабораторная работа №1 Изучение условных графических обозначений основных пневмоэлементов на схемах		2			Защита отчета по лаб. работе
2	Элементы и схемы пневмосистем и пневмоприводов					
2.1	Производство и распределение сжатого воздуха	4				
	Лабораторная работа №2 Изучение подсистемы производства и подготовки сжатого воздуха.		2			Защита отчета по лаб. работе
2.2	Основные понятия о трубопроводах и арматуре, расчет трубопроводов	6				

	Лабораторная работа №3 Изучение подсистемы распределения сжатого воздуха. Расчет трубопроводов		2			Защита отчета по лаб. работе
2.3	Исполнительные устройства пневмоприводов	4				
	Лабораторная работа №4 Изучение конструкции и работы пневмоцилиндров. Построение схем прямого и непрямого управления пневмоцилиндрами		2			Защита отчета по лаб. работе
2.4	Распределительная аппаратура	6				
	Лабораторная работа №5 Изучение конструкции и работы пневмораспределителей. Подбор пневмораспределителей		2			Защита отчета по лаб. работе
2.5	Регулирующая и вспомогательная аппаратура, элементы пневмоавтоматики	6				
	Лабораторная работа №6 Изучение конструкции и работы пневмоклапанов и элементов пневмоавтоматики. Построение пневматических схем с элементами логики.		4			Защита отчета по лаб. работе
2.6	Измерительные приборы и инструмент	2				
2.7	Примеры реализации пневмосхем	4				
	Лабораторная работа №7 Изучение и построение электропневматических схем		3			Защита отчета по лаб. работе
3	Динамика пневмоприводов					
3.1	Динамический анализ пневмоприводов	3				
3.2	Динамический синтез пневмоприводов	2				
	Курсовая работа					
	Итого за семестр:	51	17			Защита курсовой работы, зачет
	Всего аудиторных часов:		68			

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Заочная форма получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образова-
нием

Номер раздела, темы	Наименование раздела, темы	Количество аудиторных часов			Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		лекции	лабораторные занятия	практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7
5 семестр						
1	Основные понятия о газах под давлением и области применения пневматических систем					
1.1	Понятие газа, особенности сжатого воздуха, основные законы и уравнения потока газа. Основные требования безопасности при использовании пневмосистем.	2				
2	Элементы и схемы пневмосистем и пневмоприводов					
2.1	Производство и распределение сжатого воздуха	2				
	Практическая работа №1 Определение количества конденсата, образующегося при получении сжатого воздуха и работе пневмосистемы			1		
	Практическая работа № 2 Расчет трубопроводов			1		
2.3	Исполнительные устройства пневмоприводов	2				
	Практическая работа № 3 Определение размеров пневмоцилиндров; Определение расхода сжатого воздуха, потребляемого пневмодвигателем			1		
2.4	Распределительная аппаратура	2				
	Практическая работа № 4 Определение пропускной способности пневмоэлементов			1		
2.5	Регулирующая и вспомогательная аппаратура, элементы пневмоавтоматики	2				

	Лабораторная работа №1 Изучение конструкции и работы пневмоклапанов и элементов пневмоавтоматики. Построение пневматических схем с элементами логики.		2			Защита отчета по лаб. работе
	Лабораторная работа №2 Изучение и построение электропневматических схем.		2			Защита отчета по лаб. работе
	Курсовая работа					Защита курсовой работы
	Итого за семестр:	10	4	4		зачет
	Всего аудиторных часов:		18			

- Темы учебного материала, не указанные в Учебно-методической карте, отводятся на самостоятельное изучение студентами

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список литературы

Основная литература

1. Герц, Е.В. Динамика пневматических систем машин / Е.В. Герц – Москва, 1985 – 465 с.
2. Ибрагимов, И.А. Элементы и системы пневмоавтоматики: учеб. пособие для ВУЗов. / И.А.Ибрагимов – Москва, 1975
3. Юшкин, В.В Гидравлика и гидравлические машины / В.В Юшкин; Высшая школа. – Минск 1984. – 217 с.
4. Медведев, В.Ф. Гидравлика и гидравлические машины: учеб. пособие для студентов инженерно-технических специальностей ВУЗов. / В.Ф.Медведев; Выш. школа – Минск, 1998. – 310 с.
5. Рачков, М. Ю. Пневматические системы автоматике : учебное пособие для вузов / М. Ю. Рачков. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 285 с.
6. Гидравлика, пневматика и термодинамика: Курс лекций / Под ред. В.М. Филина. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 320 с.

Дополнительная литература

1. Рачков, М. Ю. Пневматические системы автоматике : учебное пособие для вузов / М. Ю. Рачков. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 264 с.
2. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмопривода: Учебник – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.
3. Андреев А.Ф., Барташевич Л.В., Боглан Н.В. и др. Гидро- пневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Объемные гидро- и пневмомашин и передачи. - Минск: Высшая школа, 1987. – 310 с.
4. Попов Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. Учеб. для машиностроительных вузов. М., «Машиностроение», 1976. – 424 с.
- Кроссер П. Пневмоавтоматика. Основной курс ТР101 / Учебное пособие М.: ФЕСТО. 2002. – 145 с.
5. Горюнов В.А., Дьячков Е.А., Чаплыгин Э.И. Пневмогидроавтоматика. Часть II. Пневматические системы управления Учебное пособие. – Волгоград, 2006. – 96 с.
6. Гринчар Н.Г., Зайцева Н.А. Основы пневмопривода машин М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. – 364 с.
7. Донской А.С. Математическое моделирование процессов в пневматических приводах Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 121 с.
8. Кабаков А.Н., Калекин В.С. и др. Поршневые пневмодвигатели с самодействующими клапанами / Кабаков А.Н., Калекин В.С., Калекин Д.В., Ваняшов А.Д. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – 80 с.

9. Кудрявцев А.И., Пятидверный А.П., Рагулин Е.А. Монтаж, наладка и эксплуатация пневматических приводов и устройств М.: Машиностроение, 1990. – 208 с.
10. Кузнецов Ю.В., Кузнецов М.Ю. Сжатый воздух Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 511 с.
11. Матяш С.П., Речкин С.В. Пневматический привод автотракторной техники Учебное пособие. – Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т., Инж. ин-т, 2011. – 132 с.
12. Преде Г., Шольц Д. Электropневмоавтоматика Основной курс TP201 Учебник М.: ООО Фесто РФ 2003. – 295 с.
13. Пашков Е.В., Осинский Ю.А., Четверкин А.А. Электropневмоавтоматика в производственных процессах Учебное пособие. – 2-е издание, переработанное и дополненное. Издательство СевНТУ, 2003. – 496 с.

Средства диагностики результатов учебной деятельности

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- устный и письменный опрос во время лабораторных и практических занятий;
- проведение текущих контрольных заданий по отдельным темам;
- защита выполненных на лабораторных и практических занятиях индивидуальных заданий;
- защита выполненных в рамках самостоятельной работы индивидуальных заданий;
- защита курсовой работы;
- сдача зачета по дисциплине.

Перечень тем курсовых работ

Темой курсовой работы является исследование динамики пневматического привода. Каждый студент в задании получает описание работы пневматического привода (условий пуска и выполняемых функций), вид пневмоцилиндра и параметры силы полезного сопротивления, массы подвижных частей, давления в системе, средней скорости перемещения штока и т.д.

Рекомендуемое содержание курсовой работы: разработка принципиальной схемы пневматического привода по заданным параметрам; определение диаметра пневмоцилиндра, расчет расхода воздуха, потребляемого пневмоцилиндром; подбор пневматических элементов по расходу воздуха и другим параметрам по каталогам; исследование динамики пневматического привода; выполнение чертежа пневматического привода и принципиальной схемы пневматического привода.

Исследование динамики пневматического привода проводится по следующим пунктам:

- 1 Динамический синтез типового двухстороннего пневмопривода;
 - 1.1 Условие получения установившегося движения поршня;
 - 1.2 Выбор параметров привода по заданной скорости поршня;
 - 1.3 Выбор параметров элементов пневмолиний;
- 2 Динамический анализ пневмопривода нагруженного постоянными силами;
 - 2.1 Анализ циклограммы типового пневмопривода;
 - 2.2 Подготовительный период работы пневмопривода;
 - 2.3 Период движения поршня.

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы студентов

1. Применение пневмосистем для транспортировки сыпучих материалов;
2. Состав элементов систем пневмотранспорта;
3. Применение пневматических систем на транспортных средствах;
4. Примеры пневмосистем автомобилей;
5. Примеры пневмосистем автобусов и троллейбусов;
6. Примеры пневмосистем поездов;
7. Применение пневматического инструмента;
8. Конструкции пневматического инструмента;
9. Оборудование для покраски с использованием сжатого воздуха;
10. Пневматические системы в горнодобывающей и металлургической отрасли;
11. Пневматические системы в машиностроении;
12. Пневматические системы в пищевой промышленности;
13. Пневматические системы в медицине;
14. Автоматизация технологических процессов с использованием пневмосистем.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- решение индивидуальных заданий;
- подготовка и сдача отчетов по каждой из запланированных лабораторных работ.
- подготовка рефератов по индивидуальным темам, в том числе с использованием патентных материалов;
- подготовка курсовой работы по индивидуальным заданиям, в том числе разноуровневым заданиям.