

Министерство образования и науки Украины  
Сумський державний університет

**М. Г. ПРОКОПОВ, С. М. ВАНЕЕВ, В. Н. КОЗИН**

# **КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ПНЕВМОАГРЕГАТОВ**

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом Сумского государственного университета



Сумы  
Сумський державний університет  
2015

УДК 62-522.7(075.8)  
ББК 34.447.5я73  
П80

Рецензенты:

*В. И. Милованов* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой компрессоров и пневмоагрегатов Одесской национальной академии пищевых технологий, академик Международной академии холода, заслуженный деятель науки и техники Украины;

*И. А. Ковалев* – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной гидроаэромеханики Сумского государственного университета

*Рекомендовано к изданию ученым советом Сумского государственного университета в качестве учебного пособия  
(протокол № 2 от 8 октября 2015 года)*

**Прокопов М. Г.**

П80 Конструкции элементов пневмоагрегатов : учебное пособие /  
М. Г. Прокопов, С. М. Ванеев, В. Н. Козин. – Сумы : Сумський  
государственный университет, 2015. – 148 с.  
ISBN 978-966-657-583-1

В учебном пособии даны общие сведения о пневматических устройствах и системах, а также рассмотрены вопросы производства сжатого воздуха в компрессорах с описанием их принципа действия и конструкции. Особое внимание в книге уделено различным видам пневмодвигателей: принципу действия, конструкции, обозначению на принципиальных схемах. Не остались без внимания устройства по регулированию подачи, очистке, осушке и транспортировке сжатого воздуха, а также безопасности эксплуатации пневматических приводов. В учебном пособии представлен целостный и современный обзор технологии получения и использования сжатого воздуха в пневмоустройствах, служащих в качестве исполнительных, усилий и передаточных элементов в системах автоматизированного управления и регулирования.

Пособие может быть полезно для студентов энергетических специальностей, для всех интересующихся процессами получения и использования сжатого воздуха в пневмоустройствах, а также – их конструкциями, принципами действия с учетом требований безопасности эксплуатации.

**УДК 62-522.7(075.8)  
ББК 34.447.5я73**

ISBN 978-966-657-583-1

© Прокопов М. Г., Ванеев С. М., Козин В. Н., 2015  
© Сумський національний університет, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

	С.
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ И СИСТЕМАХ.....	7
1.1 Свойства воздуха.....	7
1.2 Термодинамические процессы.....	8
1.3 Основные закономерности течения газов.....	9
1.4 Структура пневматических систем и устройств.....	12
1.5 Производство и подготовка сжатого воздуха.....	13
2 КОМПРЕССОРЫ.....	16
2.1 Объемные компрессоры.....	16
2.2 Динамические компрессоры.....	21
3 ПНЕВМОДВИГАТЕЛИ.....	26
3.1 Пневматические цилиндры.....	26
3.1.1 Пневмоцилиндры одностороннего действия.....	27
3.1.2 Пневмоцилиндры двустороннего действия.....	29
3.1.3 Пневмоцилиндры с демпфированием в конце хода.....	30
3.1.4 Пневмоцилиндры с проходным штоком.....	32
3.1.5 Тандем-пневмоцилиндры.....	32
3.1.6 Позиционирование пневмоцилиндров.....	33
3.1.7 Пневмоцилиндры с фиксатором штока.....	34
3.1.8 Бесштоковые пневмоцилиндры.....	35
3.2 Защита штока пневмоцилиндра от поворота.....	38
3.3 Монтаж пневмоцилиндров.....	39
3.4 Поворотные пневматические двигатели.....	40
3.5 Пневмомоторы.....	42
3.5.1 Пластинчатые (шиберные) пневмомоторы.....	43
3.5.2 Шестеренные пневмомоторы.....	44
3.5.3 Поршневые пневмомоторы.....	45
3.5.4 Мембранные пневмомоторы.....	47
3.5.5 Винтовые пневмомоторы.....	48
3.5.6 Турбинные пневмомоторы.....	48
3.5.7 Выбор типа пневмомотора.....	53
3.6 Специальные пневматические исполнительные устройства.....	54
3.6.1 Цанговые зажимы.....	54
3.6.2 Пневматические захваты.....	55
3.6.3 Вакуумные захваты.....	56
4 НАПРАВЛЯЮЩАЯ ПНЕВМОАППАРАТУРА.....	59
4.1 Пневматические распределители.....	60
4.2 Моностабильные пневмораспределители.....	63
4.3 Бистабильные пневмораспределители (с фиксацией положения).....	72
4.4 Монтаж пневмораспределителей.....	74
4.5 Определение параметров пневмораспределителей.....	76

<b>5 РЕГУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА.....</b>	<b>79</b>
5.1 Запорные элементы.....	79
5.2 Устройства регулирования расхода.....	80
5.3 Устройства регулирования давления.....	85
5.5 Пневмоклапаны последовательности.....	90
<b>6 УСТРОЙСТВА ОЧИСТКИ, ОСУШКИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА.....</b>	<b>92</b>
6.1 Фильтры.....	92
6.2 Устройства осушки.....	97
6.3 Ресиверы.....	98
6.4 Трубопроводы. Соединения трубопроводов.....	102
6.5 Маслораспылители и блоки подготовки воздуха.....	108
<b>7 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ.....</b>	<b>113</b>
7.1 Техническое обслуживание пневматических приводов.....	113
7.2 Поиск и устранение неисправностей.....	115
7.3 Требования безопасности.....	117
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>124</b>
Приложение А.....	125
Приложение Б.....	128
Приложение В.....	129
Приложение Г.....	130

## ВВЕДЕНИЕ

Со времен индустриализации технические решения претерпели существенные изменения, благодаря которым практически все отрасли промышленности получили возможность производить больше единиц товара, быстрее и эффективней. В процессах автоматизации использование пневматики стало очевидным двигателем прогресса, найдя множество применений в современном мире технологий.

Со страниц истории мира вырисовывается узнаваемый образ: человек дует на трут и разжигает огонь. Это один из самых простых и в то же время потрясающих примеров пневматического устройства – форма жизни с ее естественным «компрессором». К примеру, человеческие легкие способны перерабатывать 100 л/мин, или 6 м<sup>3</sup>/ч, производя давление (0,02 – 0,08) бар. Основоположный принцип действия пневматики – воздух высокого давления, который производится с помощью компрессоров. Ключ ее успеха в том, что энергия сжатого воздуха способна приводить механизмы в движения, при этом гарантируя последним длительный срок службы. Сжатый воздух выгоден, поскольку он требует меньших затрат в обслуживании и простые условия хранения. Другими словами, пневматика укрощает сжатый воздух, применяя его для эффективной работы на благо человечества. Несмотря на то, что сжатый воздух использовался еще со времен античности, пневматика в промышленных секторах начала активно применяться только с начала XIX столетия, первоначально в очистных целях посредством обдува. Со временем сжатый воздух стал использоваться на производстве для реализации автоматических циклов. За последние десять лет пневматика обрела новый импульс, вздохнула по-новому, во многом благодаря тесному взаимодействию с электроникой, пройдя путь от миниатюризации модулей до встроенных промышленных компьютеров. Сегодня, объединив пневматику и электронику буквально в одном корпусе, пневмооборудование прельщает разработчиков и конструкторов всего мира простотой управления и высоким быстродействием. Это стало новым этапом восхождения пневматики на олимп промышленной автоматизации, который в дальнейшем позволил не только автоматизировать системы, но и наделить их особым интеллектом. Благодаря современным коммуникационным интерфейсам, таким как Ethernet, программируемые контроллеры образовали вместе с пневмоостровами компактные модули, воплотив концепцию действительно интеллектуальной системы, способной общаться, регулировать и взаимодействовать. Новые технологии, интегрированные в пневмокомпоненты и системы, вывели промышленную автоматизацию на базе сжатого воздуха на принципиально новый уровень.

Перед подробными выкладками касательно пневматических устройств с целью повышения восприятия информации рассмотрим основные понятия из мира пневмотехники, оценим их преимущества и недостатки.

**Пневмоагрегат** – это агрегат, состоящий из источника сжатого воздуха, пневматических устройств и пневматической системы управления.

Пневматические устройства делятся на 3 основные группы:

- 1) исполнительные;
- 2) распределительные;
- 3) управляющие.

**Исполнительные устройства** предназначены для преобразования энергии сжатого воздуха в механическую энергию выходного звена привода, действующего на рабочий орган машины. В машиностроении исполнительными устройствами в большинстве случаев являются пневмодвигатели.

**Распределительные устройства** предназначены для изменения направления потоков сжатого воздуха в линиях, соединяющих устройства в приводе.

**Управляющие устройства** предназначены для обеспечения заданной последовательности перемещения исполнительных устройств.

**Пневматические системы управления** (ПСУ) наряду с электрическими и гидравлическими являются эффективными средствами автоматизации и механизации производственных процессов. Наиболее часто они применяются для зажима деталей, их фиксации, в процессах сборки, контроля линейных размеров, при транспортировании и упаковке.

Преимущества ПСУ перед электрическими и гидравлическими:

- 1) относительная простота конструкции, эксплуатации и обслуживания;
- 2) низкая стоимость;
- 3) надежность работы в широком диапазоне температур, при высокой влажности, запыленности;
- 4) пожаро- и взрывобезопасность;
- 5) большой срок службы (10 – 20 тысяч часов);
- 6) легкость получения и простота передачи энергоносителя (сжатого воздуха);
- 7) возможность снабжения сжатым воздухом большого количества потребителей от одного источника;
- 8) отсутствие необходимости в защитных устройствах при перегрузках.

Основные недостатки ПСУ:

- 1) сравнительно малая скорость передачи сигнала на большие расстояния;
- 2) сложность обеспечения плавного перемещения рабочих органов пневматических исполнительных устройств при колебании нагрузки;
- 3) относительно высокая стоимость получения энергоносителя (сжатого воздуха).

Уровни давления (избыточного), применяемые в пневматической технике:

- 1) высокий – (0,2 – 1,6) МПа;
- 2) средний – (0,1 – 0,25) МПа;
- 3) низкий – (0,01 – 0,1) МПа.

# 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ И СИСТЕМАХ

## 1.1 Свойства воздуха

Рабочим телом в пневмосистемах является *сжатый воздух*. Он представляет собой механическую смесь азота, кислорода (по объему примерно 78 и 21 % соответственно) и других газов, содержащихся в небольшом количестве (неон, гелий, криптон, водород, аргон, углекислый газ и др.). В воздухе содержится также водяной пар. На практике при термодинамических расчетах используют параметры сухого воздуха. Поправку на влажность вносят только при особых требованиях к точности.

Основными термодинамическими параметрами, характеризующими состояние воздуха, как и других газов, являются давление  $p$ , температура  $T$  и удельный объем  $v$  (или плотность  $\rho$ ).

Уравнение состояния в общем виде имеет вид  $F(p, \rho, T) = 0$ . Воздух для пневмосистем подчиняется законам идеального газа: Бойля – Мариотта  $p v = \text{const}$ , ( $T = \text{const}$ ); Гей-Люссака  $v / T = \text{const}$ , ( $p = \text{const}$ ); Шарля  $p / T = \text{const}$ , ( $v = \text{const}$ ); все эти уравнения объединены в одно, которое является уравнением состояния идеального газа и называется *уравнением Менделеева – Клапейрона* ( $pV = mRT$ , или для единицы массы газа  $pV = RT$ ). Коэффициент пропорциональности  $R$  называется *удельной газовой постоянной* идеального газа массой 1 кг, совершающего работу 1 Дж при повышении температуры на 1 К. Его значение зависит только от свойств газа. Удельная и универсальная газовые постоянные связаны соотношением  $R = \mu R / M = 8314 / M$ . Для сухого воздуха  $R = 287 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ , молекулярная масса воздуха  $M = 28,96 \text{ кг/кмоль}$ .

Реальный газ отличается от идеального в основном отличием сил внутреннего трения. Чем выше плотность реального газа, тем больше он отличается от идеального. Динамический коэффициент вязкости  $\mu$ , Па·с, который определяется силами внутреннего трения, связан с кинематическим коэффициентом вязкости  $\nu$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ , следующей зависимостью:  $\nu = \mu / \rho$ .

Свойства воздуха в большей или меньшей степени зависят от температуры и давления. В таблицах обычно свойства воздуха и других газов даются при *нормальных физических условиях*, т. е. при температуре 0 °C (273,15 K) и давлении 760 мм рт. ст. (101325 Па). При этих условиях для воздуха:

- показатель изоэнтропы (адиабаты)  $k = 1,40$ ;
- кинематический коэффициент вязкости  $\nu = 13,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;
- динамический коэффициент вязкости  $\mu = 17,04 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;
- удельная массовая изобарная теплоемкость  $c_p = 1005 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ ;
- удельная массовая изохорная теплоемкость  $c_v = 718 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ .

Зависимость массовой изобарной теплоемкости воздуха от температуры имеет вид,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ :

$$c_p = 4,19 \cdot (0,24 + 0,95 \cdot 10^{-5} t). \quad (1.1)$$

Взаимосвязь теплоемкостей  $c_p$  и  $c_v$  определяется из уравнения Майера

$$c_p = c_v + R. \quad (1.2)$$

Зависимость динамической вязкости газов от температуры выражается формулой Сазерленда

$$\mu = \mu_0 \frac{273 + C}{T + C} \left( \frac{T}{273} \right)^{3/2}, \quad (1.3)$$

где  $\mu_0$  – динамическая вязкость газа при  $0^\circ\text{C}$ ;

$C$  – постоянная, зависящая от рода газа (для воздуха  $C = 111$ ).

## 1.2 Термодинамические процессы

*Термодинамическим процессом* называют изменение состояния системы, характеризующееся изменением термодинамических параметров.

При описании термодинамических процессов используют такие величины, как *теплоемкость, внутренняя энергия, энталпия, энтропия*.

*Теплоемкость* характеризует количество теплоты, необходимое для нагревания вещества на  $1^\circ\text{C}$  ( $1\text{ K}$ ). На практике чаще всего используется *удельная массовая теплоемкость* – количество теплоты, необходимое для нагревания  $1\text{ кг}$  вещества на  $1\text{ K}$ .

Теплоемкость зависит от характера процесса, при котором подводится теплота. Для  $1\text{ кг}$  вещества различают удельную массовую теплоемкость при постоянном давлении (*удельную массовую изобарную теплоемкость*)  $c_p$  и удельную массовую теплоемкость при постоянном объеме (*удельную массовую изохорную теплоемкость*)  $c_v$ . Отношение этих теплоемкостей представляет собой *показатель адиабаты (изоэнтропы)* газа и является показателем степени изоэнтропного процесса:

$$k = c_p / c_v. \quad (1.4)$$

Теплоемкость зависит также от температуры, поэтому различают *истинную теплоемкость*, относящуюся к конкретной температуре, и *среднюю теплоемкость*, относящуюся к разности температур. Часто в пневмоагрегатах колебания температуры относительно невелики и теплоемкость приближенно можно считать величиной постоянной.

*Внутренняя энергия*  $U$  – это собственная энергия неподвижного тела (системы). Она зависит только от его внутреннего состояния и включает в себя энергию хаотического (теплового) движения всех микрочастиц (молекул, атомов, ионов и др.), энергию взаимодействия этих частиц, внутриядерную энергию и т. д. Внутреннюю энергию тела или системы можно определить как сумму кинетической энергии всех молекул, атомов и других микрочастиц и потенциальной энергии их взаимодействия друг с другом. В термодинамических расчетах используют не абсолютное значение внутренней энергии, а изменение этого значения в разных процессах. Внутреннюю энергию

единицы массы вещества называют *удельной внутренней энергией*. Внутренняя энергия идеального газа состоит только из кинетической энергии его молекул и зависит от температуры, *Дж*:

$$dU = mc_v dT. \quad (1.5)$$

*Энтальпий* *H* системы называют функцию состояния, равную сумме внутренней энергии и произведения давления на объем, занимаемый газом, *Джс*:

$$H = U + pV, \quad (1.6)$$

или для единицы массы газа, *Джс/кг*:

$$h = u + pv. \quad (1.7)$$

*Энтропия* *S* системы есть функция ее состояния. Изменение энтропии является признаком обмена энергией системы с окружающей средой в форме теплоты, *Джс/К*:

$$dS = dQ/T, \quad (1.8)$$

где *Q* – количество теплоты, *Дж*.

*Первый закон термодинамики* представляет собой закон сохранения и превращения энергии применительно к термодинамическим системам и формулируется следующим образом: подведенная к системе теплота *Q* расходуется на изменение внутренней энергии *U* системы и на совершение работы изменения объема (внешней работы) системы *L*:

$$dQ = dU + dL, \quad (1.9)$$

или в удельных величинах, *Джс/кг*:

$$dq = du + dl, \quad (1.10)$$

где  $dl = pdv$ ; *l* – удельная внешняя работа газа, *Дж/кг*.

Из уравнения первого закона термодинамики как частные случаи могут быть получены уравнения для всех основных элементарных процессов: изохорного, изобарного, изотермического, адиабатного, политропного. Эти процессы протекают при постоянном значении теплоемкости, причем наиболее общим случаем является политропный процесс, характеризуемый постоянным показателем политропы:

$$n = (c_p - c)/(c_v - c). \quad (1.11)$$

Из уравнения (1.11) теплоемкость политропного процесса будет равна

$$c = c_v(n - k)/(n - 1). \quad (1.12)$$

В уравнении адиабаты (изоэнтропы)  $p v^k = \text{const}$  показатель адиабаты для воздуха  $k \approx 1,4$ . В уравнении политропы  $p v^n = \text{const}$  показатель политропы *n* для различных процессов может принимать любые числовые значения, но в каждом конкретном процессе является постоянной величиной.

### 1.3 Основные закономерности течения газов

В элементах пневмоагрегатов, как правило, осуществляется стационарное течение одного или нескольких потоков газа. Для определения параметров этих

потоков применяют основные уравнения термодинамики и механики одномерного течения.

**Уравнение неразрывности потока:** при установившемся движении газа массовый расход одинаков во всех сечениях канала

$$\dot{m} = \rho w f = \text{const}, \quad (1.13)$$

где  $w$  – скорость течения газа;  $f$  – площадь поперечного сечения канала.

**Уравнение I закона термодинамики для открытой однопоточной системы:** теплота, подводимая к потоку извне, расходуется на увеличение энталпии рабочего тела, производство технической работы и изменение кинетической энергии и потенциальной энергии положения потока

$$q_{\text{внеш}} = (h_2 - h_1) + l_{\text{тех}} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + g(z_2 - z_1), \quad (1.14)$$

где  $z_1$  и  $z_2$  – высота центра тяжести поперечного сечения потока в сечениях 1-1 и 2-2;

$q_{\text{внеш}}$  – теплота, подводимая к 1 кг рабочего тела из окружающей среды;

$l_{\text{тех}}$  – техническая работа, совершаемая 1 кг рабочего тела.

**Уравнение сохранения механической энергии (уравнение Бернулли):** подведенная извне техническая работа затрачивается на увеличение потенциальной энергии давления, на изменение кинетической энергии и потенциальной энергии положения потока, а также на покрытие потерь

$$-l_{\text{тех}} = \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\rho} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) + l_{\text{пот}}. \quad (1.15)$$

При отсутствии технической работы и малом изменении плотности рабочего тела уравнение Бернулли записывается в виде

$$\frac{w_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gz_1 = \frac{w_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + gz_2 + l_{\text{пот}}. \quad (1.16)$$

**Истечение газа из неограниченного объема.** При изоэнтропном движении газа при условии истечения из неограниченного объема (начальная скорость равна нулю) массовый расход определяется по формуле, которой часто пользуются при расчетах пневмосистем:

$$\dot{m} = \varphi f_2 p_1 \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT_1} \left[ \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (1.17)$$

где  $p_1$  и  $p_2$  – соответственно давление газа в неограниченном объеме и в выходном сечении короткого канала или сопла, через которое происходит истечение;  $\varphi$  – коэффициент расхода;  $f_2$  – площадь выходного сечения сужающегося сопла или цилиндрического канала;  $T_1$  – абсолютная температура газа, содержащегося в неограниченном объеме;  $R$  – удельная газовая постоянная.

*Коэффициент расхода*  $\varphi$  представляет собой отношение действительного расхода воздуха к теоретическому, за который обычно принимается расход газа при изоэнтропном процессе истечения при том же отношении давлений. Он учитывает изменение расхода вследствие принятых допущений и обычно определяется экспериментально.

При определенном отношении давлений, называемом *критическим*,  $\left(\frac{p_{2kp}}{p_1}\right) = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$ , расход достигает максимального значения. При  $k = 1,4$  (для воздуха)  $\left(\frac{p_{2kp}}{p_1}\right) \approx 0,528$ .

Процесс истечения газа из суживающихся сопел при отношении давлений, меньшем, чем критическое, называют *докритическим* и расход определяют по формуле (1.17). Если отношение давлений больше критического, то процесс называют *критическим* (или *трансзвуковым*) и расход определяют по формуле,  $\text{кг/с}$ :

$$\dot{m}_* = \frac{\varphi f_2 p_1 J}{\sqrt{RT_1}}, \quad (1.18)$$

где  $J = f(k) = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$  – постоянная, зависящая от рода газа.

Для воздуха

$$\dot{m}_* = 0,0404 \varphi f_2 p_1 / \sqrt{T_1}, \quad (1.19)$$

где  $\dot{m}_*$  – в  $\text{кг/с}$ ;  $f_2$  – в  $\text{м}^2$ ;  $p_1$  – в  $\text{Па}$ ;  $T_1$  – в  $\text{K}$ .

При использовании комбинированных сопел (типа сопло Лаваля) и отношении давлений больше критического получают *сверхкритический* режим истечения.

Различают два вида течения: *ламинарное* (слои потока движутся равномерно, не смешиваясь) и *турбулентное* (частицы имеют как продольную, так и поперечную составляющие скорости, что приводит к перемешиванию потока). Переход от одного вида течения в канале к другому наступает при определенных условиях, характеризуемых *критическим числом Рейнольдса*  $\text{Re}_{kp} = 2320$ . В общем случае число Рейнольдса находят по формуле

$$\text{Re} = \frac{2r_e w}{\nu} = \frac{2r_e w \rho}{\mu}, \quad (1.20)$$

где  $w$  – средняя по сечению канала скорость течения;  $r_e$  – гидравлический радиус, т. е. отношение площади поперечного сечения канала к его периметру.

Для круглого сечения

$$\text{Re} = w \rho d / \mu, \quad (1.21)$$

где  $d$  – диаметр канала.

Условно считают, что при  $Re < Re_{kp}$  имеет место ламинарный вид течения, при  $Re > Re_{kp}$  – турбулентный. Переходной вид течения в теории пневмоагрегатов обычно не рассматривают.

## 1.4 Структура пневматических систем и устройств

*Пневматическая система* – это техническая система, состоящая из устройств, находящихся в непосредственном контакте с рабочим газом (воздухом).

Энергию сжатого воздуха промышленных пневматических систем используют для приведения в движение механизмов и машин, автоматического управления технологическими процессами, пескоструйной очистки, перемешивания растворов, распыления красок, транспортирования сыпучих материалов, дутья в доменные печи и пр. Наибольшее применение энергия сжатого воздуха получила в пневмоприводах.

Промышленные пневмоприводы классифицируются по различным признакам, приведенным на рис. 1.1.

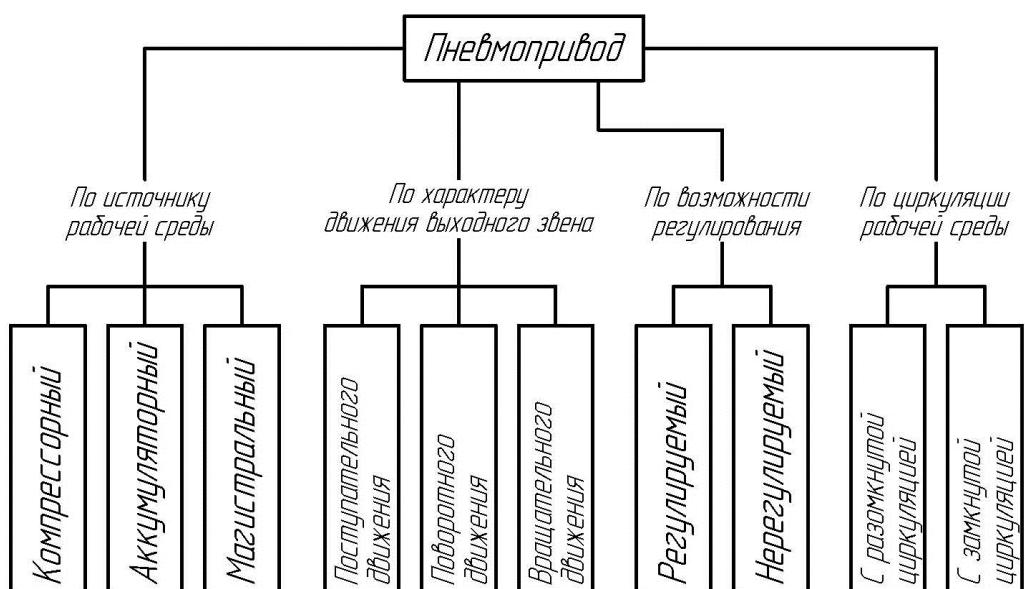


Рисунок 1.1 – Классификация пневмоприводов

В *компрессорном пневмоприводе* сжатый воздух подается в пневмодвигатель компрессором. В *аккумуляторном приводе* сжатый воздух поступает в пневмодвигатели из пневмоаккумулятора, предварительно заряженного от внешнего источника, не входящего в состав привода. Наиболее широкое распространение в промышленности нашли *магистральные пневмоприводы*, в которых сжатый воздух подается в пневмодвигатели от пневмомагистрали (заводской, цеховой и т. п.), не входящей в состав привода.

Элементы, входящие в состав пневмопривода, приведены на рис. 1.2.

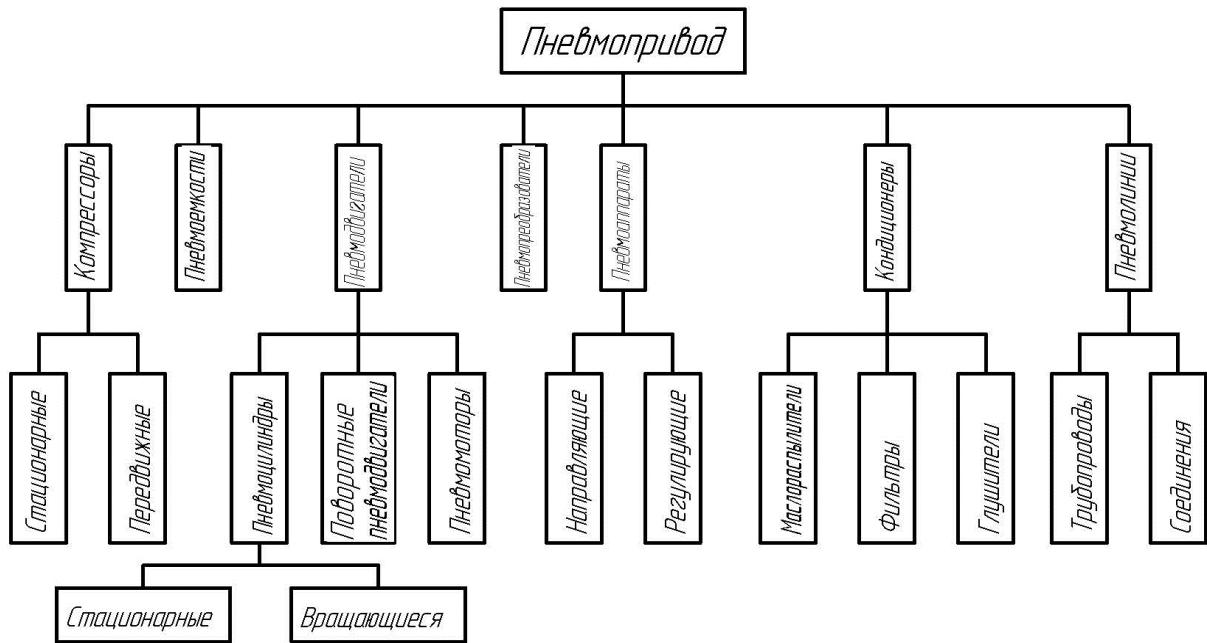


Рисунок 1.2 – Основные элементы пневмопривода

## 1.5 Производство и подготовка сжатого воздуха

На производство сжатого воздуха расходуется около 20 % всей электроэнергии, потребляемой промышленностью. Поэтому он является одним из самых дорогих энергоносителей, используемых в современном производстве. На предприятиях, где широко применяются пневматические приводы и системы, обычно существует *центральная сеть питания сжатым воздухом*. Диапазон давлений в ней, принятый как у нас в стране, так и за рубежом, составляет (0,4 – 1,0) МПа ((4 – 10) бар).

Чтобы преобразовать воздух из окружающей среды в рабочее тело пневматического привода, над ним необходимо произвести ряд последовательных действий: сжать до требуемого значения давления, осушить и очистить. Для нормальной работы пневмоприводов необходимо, чтобы загрязненность сжатого воздуха не превышала допустимого уровня. Основные загрязнители воздуха – вода и компрессорное масло в жидком и парообразном состояниях, а также твердые и газообразные вещества.

Источником воды, содержащейся в сжатом воздухе, является водяной пар, засасываемый компрессором вместе с атмосферным воздухом. Для характеристики влагосодержания (влажности) воздуха используются понятия *абсолютной и относительной влажности*.

*Абсолютная влажность*,  $f_{abc}$  ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) – это масса паров воды, содержащихся в  $1 \text{ м}^3$  воздуха.

*Относительная влажность* воздуха – это отношение абсолютной влажности воздуха при данной температуре  $f_{abc}$  к его максимально возможной абсолютной влажности при той же температуре  $f_{abc, max}$ :

$$\varphi = \frac{f_{abc}}{f_{abc, max}} = \frac{p_n}{p_s}, \quad (1.22)$$

где  $p_n$  – парциальное давление водяного пара при температуре  $t$ ;  $p_s$  – давления насыщения водяного пара при той же температуре.

*Влагосодержание* – это отношение массы водяного пара к массе сухого воздуха в общем объеме влажного воздуха,  $\text{кг}/\text{кг}$ :

$$d = \frac{M_n}{M_{c.e.}} = \frac{\rho_n}{\rho_{c.e.}} = 0,622 \frac{\varphi p_s}{B - \varphi p_s}, \quad (1.23)$$

где  $B$  – атмосферное давление;  $\varphi$  – относительная влажность воздуха.

Способность некоторого постоянного объема сжатого воздуха удерживать пары воды зависит от температуры и не зависит от давления (рис. 1.3).

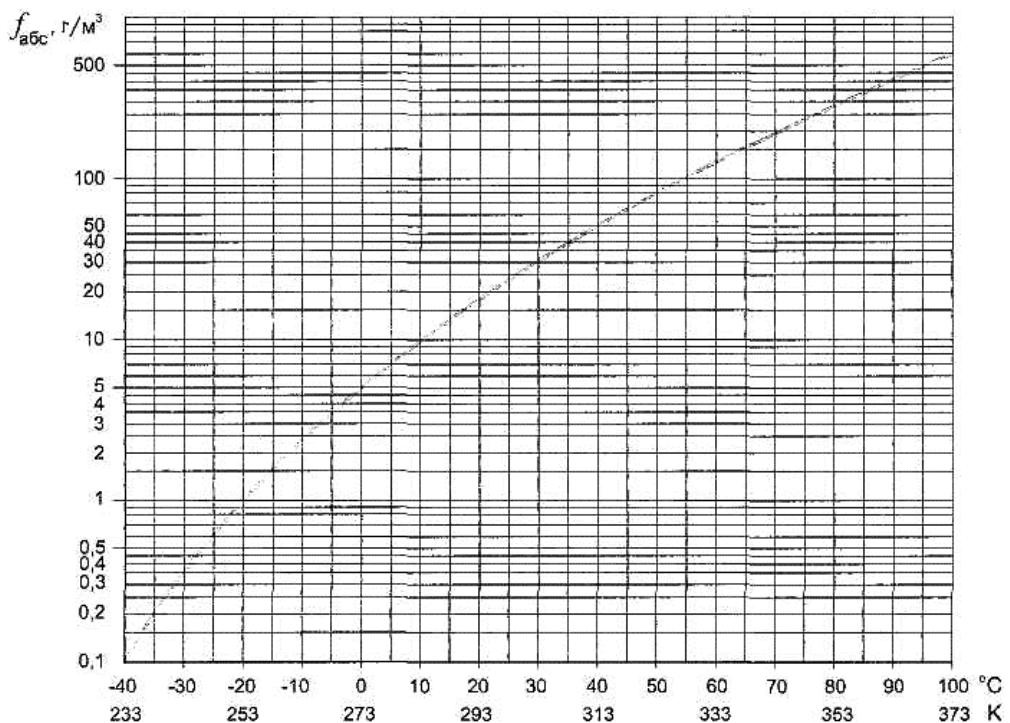


Рисунок 1.3 – Зависимость абсолютной влажности воздуха от температуры

При понижении температуры воздух насыщается водяными парами, его относительная влажность возрастает. В момент, когда относительная влажность достигает значения 100 % (состояние насыщения), начинается конденсация избыточного количества водяных паров и появляется вода (конденсат). Температура, при которой имеет место данное явление, называется *температурой точки росы*. При более высокой температуре конденсация водяных паров не наблюдается. Поэтому температуру точки росы часто указывают в качестве меры содержания в воздухе водяных паров.

Источниками загрязнения сжатого воздуха маслом могут быть смазочные материалы компрессоров и пневматических устройств, пары и распыленное в окружающем воздухе масло. В сжатом воздухе масло обычно находится в парообразном и жидком состояниях. Предельная концентрация паров масла в воздухе, как и паров воды, уменьшается с понижением температуры и повышением давления. Попадание в линию питания смазочных материалов компрессоров обычно является основной причиной загрязнения сжатого воздуха.

Качественным считается такой сжатый воздух, в котором содержание паров воды и масла настолько мало, что исключается образование капель и льда в элементах и устройствах при любых возможных температурах окружающей среды, а уровень содержания пыли не приводит к закупорке их наиболее узких участков (см. приложение В).

Таким образом, для получения качественного сжатого воздуха в источник питания сжатым воздухом должны входить:

- компрессор;
- фильтр для очистки воздуха от пыли;
- маслоотделитель;
- устройства осушки и охлаждения сжатого воздуха;
- ресивер (емкость для создания резервного запаса воздуха).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких элементов состоит пневмоагрегат?
2. Какие основные термодинамические параметры характеризуют состояние воздуха?
3. Каким законам идеального газа подчиняется воздух для пневмосистем?
4. Что такое энталпия, энтропия? Какое отношение эти термины имеют к первому и второму законам термодинамики?
5. Какой физический смысл имеет уравнение неразрывности потока?
6. Что показывает коэффициент расхода?
7. Что определяет критическое давление при истечении газа из неограниченного объема? Какое значение критического давления для воздуха?
8. В чем отличие компрессорного, аккумуляторного и магистрального пневмоприводов?
9. Из каких основных элементов состоит пневмопривод?
10. Что такое абсолютная и относительная влажность воздуха?

## 2 КОМПРЕССОРЫ

По физическому принципу действия различают компрессоры объемного и динамического типов. Классификация компрессоров по конструктивному исполнению гораздо шире (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Классификация компрессоров

В объемных компрессорах, работающих по принципу вытеснения, воздух замыкают в рабочей камере и затем уменьшают ее объем, вследствие чего увеличивается давление. Затем рабочая камера соединяется с отводящим (нагнетательным) трубопроводом.

В динамических компрессорах воздух поступает на рабочий орган, сообщающий ему кинетическую энергию, которая в проточной части компрессора преобразуется в потенциальную энергию давления.

Для получения высоких давлений при небольшой производительности используют компрессоры объемного типа (исключая компрессоры Рутса), а для получения больших расходов при относительно малом давлении – компрессоры динамического типа.

### 2.1 Объемные компрессоры

Наиболее широкое применение находят *поршневые компрессоры*.

Существует множество типов поршневых компрессоров. Они бывают простого и двойного действия, одно- и многоступенчатые, одно- и многоцилиндровые, с воздушным и водяным охлаждением.

Основными деталями поршневого компрессора простого действия (рис. 2.2) являются: цилиндр 2 с нагнетательным 7 и всасывающим 1 клапанами в крышке 6; поршень 3; кривошипно-шатунный механизм 5, преобразующий вращательное движение приводного вала 4 в возвратно-поступательное движение поршня.

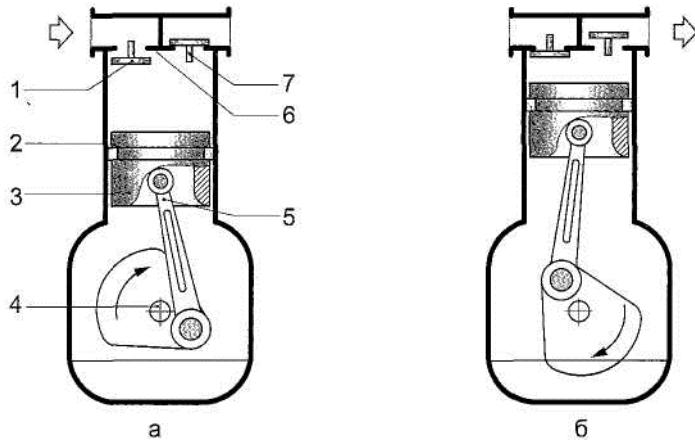


Рисунок 2.2 – Поршневой компрессор простого действия:

а) обратный ход; б) прямой ход;

1 – всасывающий клапан; 2 – цилиндр; 3 – поршень; 4 – приводной вал; 5 – кривошипно-шатунный механизм; 6 – клапанная крышка; 7 – нагнетательный клапан

При движении поршня к нижней «мертвой точке» (обратный ход – рис. 2.2 а) рабочая камера компрессора, образованная замкнутым объемом между поршнем 3 и крышкой 6 цилиндра, увеличивается, и в ней создается вакуум. Под действием атмосферного давления открывается всасывающий клапан 1, через который в цилиндр поступает воздух. В это время нагнетательный клапан 7 удерживается в закрытом положении под действием вакуума в рабочей камере и высокого давления в нагнетательном трубопроводе. После достижения поршнем 3 крайнего нижнего положения начинается процесс его движения к верхней «мертвой точке» (прямой ход – рис. 2.2 б). Объем рабочей камеры начинает уменьшаться, давление в ней возрастает, и всасывающий клапан закрывается. Нагнетательный клапан открывается тогда, когда давление в цилиндре превысит давление в линии нагнетания. Полный цикл такого компрессора совершается за два хода поршня – обратный и прямой, т. е. за один оборот приводного вала.

Для увеличения производительности иногда применяют поршневые компрессоры двойного действия (рис. 2.3).

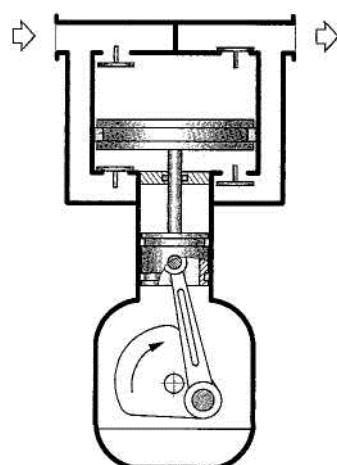


Рисунок 2.3 – Поршневой компрессор двойного действия

Компрессор, выполненный по такой конструктивной схеме, имеет две рабочие камеры при одном поршне, а всасывающие и нагнетательные клапаны

установлены в обеих крышках. При ходе поршня вниз в верхней рабочей камере происходит процесс всасывания, а в нижней – процесс нагнетания. При движении поршня вверх сжатый воздух подается в напорную линию из верхней рабочей камеры, в то время как процесс всасывания осуществляется в нижней. Производительность компрессора двойного действия практически в два раза выше производительности компрессора традиционной конструкции при одинаковых объемах рабочих камер.

Одноступенчатые компрессоры позволяют получить сжатый воздух с избыточным давлением до  $1,3 \text{ МПа}$  (13 бар), а развиваемая ими производительность достигает  $20 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$ .

Для достижения более высоких значений давления сжатого воздуха используют поршневые компрессоры многоступенчатого исполнения. Двухступенчатый компрессор (рис. 2.4) позволяет получить сжатый воздух с избыточным давлением до  $10 \text{ МПа}$ .

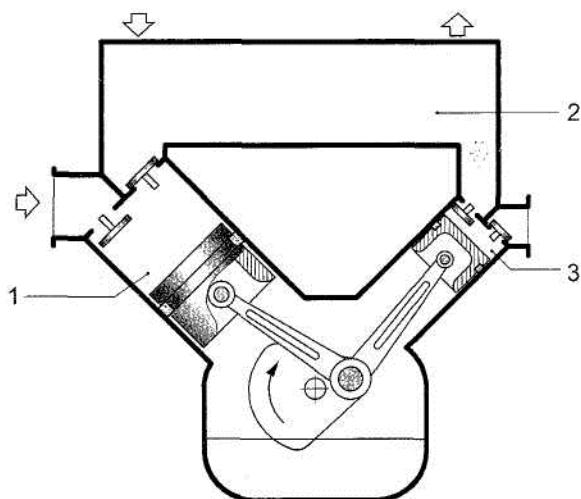


Рисунок 2.4 – Двухступенчатый поршневой компрессор простого действия:

1 – первая ступень; 2 – охладитель; 3 – вторая ступень

Всасываемый воздух предварительно сжимается в первой ступени 1, проходит промежуточное охлаждение, а затем подвергается сжатию во второй ступени 3. Увеличение степени сжатия воздуха обеспечивается тем, что объем рабочей камеры второй ступени меньше, чем первой. Необходимость охлаждения сжатого воздуха возникает в связи с интенсивным нагревом воздуха в процессе сжатия, особенно если степень сжатия значительна, а также с целью уменьшения удельной работы сжатия. Для этого в конструкцию компрессора вводят охладитель 2.

Поршневые компрессоры подают воздух в нагнетательный трубопровод неравномерно, отдельными порциями. Степень неравномерности увеличивается еще и вследствие того, что скорость движения поршня не постоянна, а изменяется по синусоидальному закону. Для сглаживания неравномерности подачи воздуха, а следовательно, и пульсаций давления в линии нагнетания применяют многопоршневые компрессоры, ходы поршней которых сдвинуты по фазе.

Все рассмотренные конструкции имеют один существенный недостаток: в картер поршневых компрессоров заливают масло, предназначенное для

смазки труящихся поверхностей. Высокие температуры в поршневом пространстве компрессоров и на начальном участке линии питания приводят к парообразованию и к частичному термическому разложению масла. В результате часть масла окисляется и в виде нагара и лакообразной пленки осаждается на внутренних полостях компрессоров и трубопроводов, а легкие фракции в виде паров и мелкодисперсной фазы уносятся воздухом в систему.

Сжатый воздух, не содержащий паров масла, можно получить без применения маслоудерживающих фильтров при помощи мембранных компрессоров (рис. 2.5).

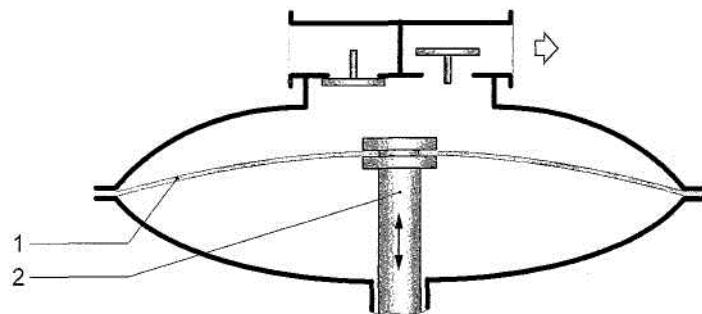


Рисунок 2.5 – Мембранный компрессор:  
1 – гибкая мембрана; 2 – шток

В мембранных компрессорах процесс получения сжатого воздуха происходит в принципе так же, как и в поршневом, с той лишь разницей, что в нем подвижной поршень заменен жестко закрепленной гибкой мембраной 1. Замкнутый объем изменяется за счет деформации мембраны при возвратно-поступательном движении штока 2.

Давление воздуха в мембранных компрессорах ограничено прочностными характеристиками мембраны и не превышает 0,4 МПа.

Основной недостаток мембранных компрессоров – необходимость периодической смены мембраны по причине выхода ее из строя.

*Ротационные компрессоры*, как и поршневые, работают с принудительным выталкиванием сжатого воздуха, однако в их конструкции отсутствуют клапаны и кривошипно-шатунный механизм. На рис. 2.6 изображен ротационный пластинчатый компрессор.

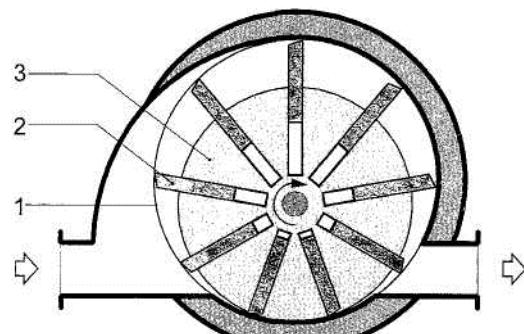


Рисунок 2.6 – Пластинчатый (шиберный) компрессор:  
1 – цилиндрический статор (корпус); 2 – пластина; 3 – ротор

В машинах такого типа вследствие эксцентричного расположения ротора 3 в цилиндрическом статоре 1 между ними образуется серповидная полость. В

радиальных пазах ротора 3 размещены подвижные пластины 2, которые под действием центробежной силы, возникающей при вращении ротора, выдвигаются из пазов и плотно прижимаются к внутренней цилиндрической поверхности статора 1 (часто применяют еще и дополнительный принудительный поджим пластин при помощи пружин либо путем подведения к торцам пластин сжатого воздуха от линии нагнетания). Вращающиеся пластины делят пространство между ротором и статором на рабочие камеры, объем которых меняется по мере поворота ротора. За один оборот ротора объем рабочих камер вначале увеличивается (при этом пластины выдвигаются из пазов), а затем уменьшается (при этом пластины задвигаются в пазы). В том месте, где при вращении ротора объем рабочих камер увеличивается, расположен входной патрубок, а на участке, где их объем уменьшается, – выходной. Степень сжатия, а следовательно, и значение давления на выходе пластинчатого компрессора (до  $0,8 \text{ MPa}$ ) значительно меньше, чем у поршневого, но его конструктивное исполнение гораздо проще.

Основные элементы конструкции *винтового компрессора* – два находящихся в зацеплении винта (рис. 2.7) – ведущий 1 и ведомый 2. При вращении винтов их винтовые линии, взаимно замыкаясь, отсекают некоторый объем воздуха в камере всасывания, перемещают его вдоль оси винтов и в конечном итоге вытесняют в камеру нагнетания. Воздух через компрессор движется поступательно и плавно, без завихрения, как гайка по резьбе при вращении винта.

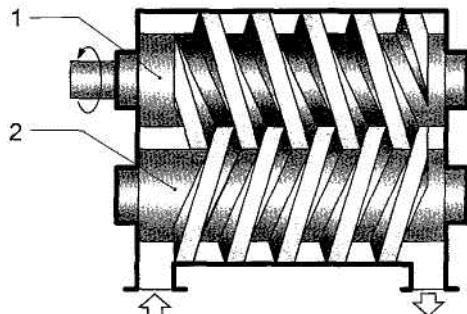


Рисунок 2.7 – Винтовой компрессор:  
1 – ведущий винт; 2 – ведомый винт

Процесс перемещения воздуха происходит по всей длине винтов непрерывно, и при постоянной частоте вращения вала компрессора обеспечивается равномерная, без пульсаций, подача. Недостаток винтовых компрессоров – довольно сложная технология изготовления винтов, а преимущество – равномерность подачи воздуха и, следовательно, отсутствие колебаний уровня давления в линии нагнетания. Винтовые компрессоры обеспечивают давление сжатого воздуха до  $2,5 \text{ MPa}$ , а расход воздуха в них достигает  $30 \text{ тыс. m}^3/\text{ч}$ .

На рис. 2.8 изображен компрессор Рутса, также относящийся к ротационным компрессорам.

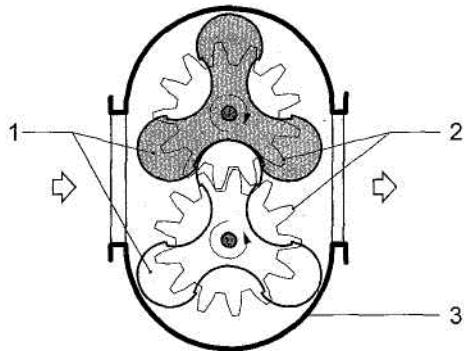


Рисунок 2.8 – Компрессор Рутса:  
1 – вытеснитель; 2 – синхронизирующие шестерни; 3 – корпус

Рабочими органами такого компрессора служат два синхронно вращающихся специально спрофилированных вытеснителя 1. Воздух, попадая в рабочие камеры, образованные между вытеснителями и корпусом 3, переносится из зоны всасывания в зону нагнетания. Рабочие органы не находятся в зацеплении друг с другом. Синхронизация их вращения осуществляется шестернями 2, расположенными в специальном отделении корпуса и находящимися в зацеплении между собой. Между самими вытеснителями, а также между вытеснителями и корпусом имеются гарантированные зазоры, и эта особенность конструкции обуславливает относительно небольшие значения выходного давления. Практическое отсутствие труящихся поверхностей в рабочей камере обеспечивает возможность достижения большой производительности благодаря высокой частоте вращения роторов.

## 2.2 Динамические компрессоры

В центробежных компрессорах (турбокомпрессорах) основным элементом конструкции служат расположенные в спиральном отводе рабочее колесо 2, представляющее собой диск со специально спрофилированными лопatkами (рис. 2.9).

Основными элементами центробежного компрессора являются корпус и ротор с установленными на нем рабочими колесами 2. В корпусе закрепляются диффузоры 3, а в многоступенчатых машинах – поворотные колена и обратные направляющие аппараты (ОНА) 4. Составными частями корпуса являются всасывающая камера 1 и сборная камера 5. Ступенью центробежного компрессора называется комплекс элементов компрессора, состоящий из рабочего колеса и диффузора (в многоступенчатом компрессоре в состав ступени входят также поворотное колено и ОНА). К первой ступени относится также всасывающая камера, к последней ступени компрессора относится сборная камера, которая может выполняться кольцевой или в виде спирального отвода (улитки).

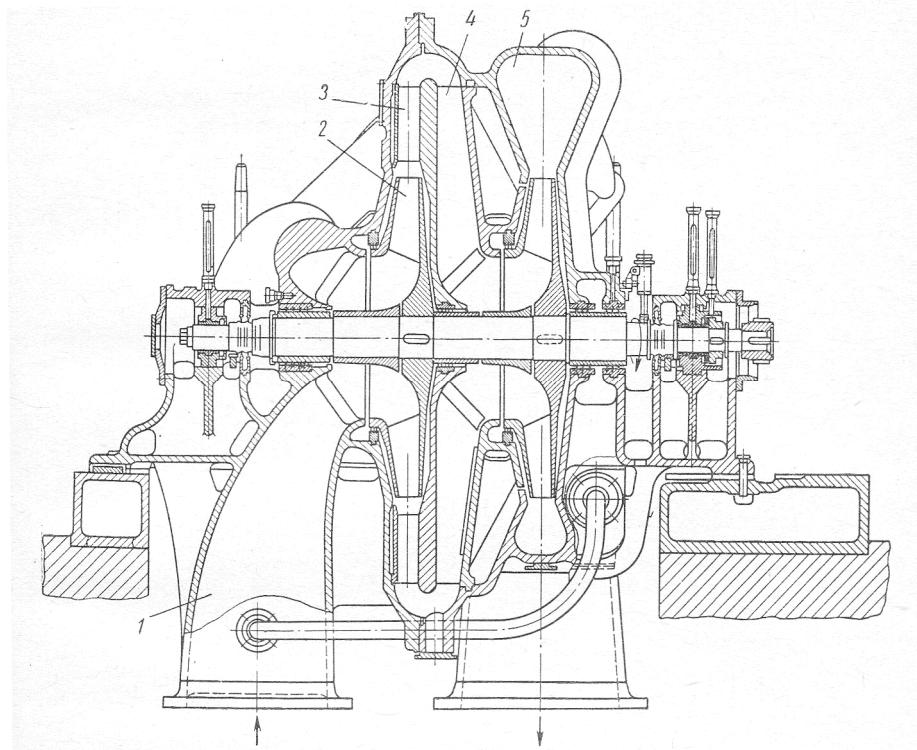


Рисунок 2.9 – Двухступенчатый центробежный компрессор:

- 1 – спиральный отвод; 2 – рабочее колесо; 3 – диффузор;
- 4 – обратный направляющий аппарат; 5 – сборная камера

Сжимаемый газ по всасывающему трубопроводу подводится к всасывающей камере 1, в которой организуется осевой подвод газа к рабочему колесу 2. Далее газ поступает в каналы, образованные лопатками рабочего колеса, и под действием центробежных сил движется к периферии рабочего колеса. При движении газа в межлопаточных каналах рабочего колеса за счет энергии, передаваемой от лопаток, увеличивается скорость газа и повышается давление. Рабочее колесо 2 является единственным элементом ступени, в котором энергия подводится к газу из окружающей среды. Во всех остальных (неподвижных) элементах ступени происходит только преобразование энергии, полученной в рабочем колесе. В диффузоре 3 происходит преобразование кинетической энергии потока газа в потенциальную энергию давления. После выхода из диффузора в одноступенчатой машине или после последней ступени в многоступенчатой машине газ поступает в сборную камеру 5, служащую для сбора потока газа, дальнейшего повышения давления газа и подвода его к нагнетательному трубопроводу. В многоступенчатых компрессорах для подвода газа к следующей ступени применяется обратный направляющий аппарат 4. Как правило, центробежные компрессоры изготавливают многоступенчатыми, т. е. с несколькими рабочими колесами, устанавливаемыми на одном валу. Основное преимущество компрессоров этого типа – большая производительность (до 1 млн.  $m^3/ч$ ).

Это же преимущество характерно и для осевых компрессоров (рис. 2.10).

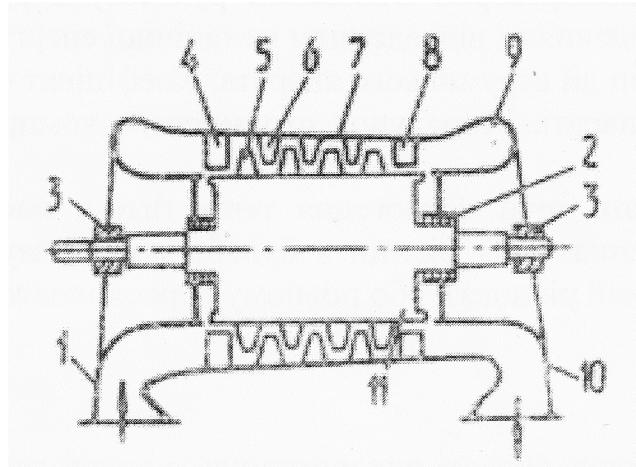


Рисунок 2.10 – Многоступенчатый осевой компрессор:

1 – входной патрубок; 2 – уплотнение; 3 – подшипники; 4 – входной направляющий аппарат; 5 – рабочие лопатки; 6 – направляющие лопатки; 7 – корпус; 8 – направляющий аппарат; 9 – диффузор; 10 – выходной патрубок; 11 – вращающийся ротор

Поток воздуха в них имеет осевое направление. Основными конструктивными элементами многоступенчатого осевого компрессора являются корпус 7, в котором закреплены входной патрубок 1, уплотнения 2, входной направляющий аппарат 4, направляющие лопатки 6, направляющий аппарат 8, диффузор 9 и выходной патрубок 10, и вращающийся ротор 11, на поверхности которого укреплены рабочие лопатки 5, а на шейках установлены подшипники 3. Осевые компрессоры развивают давление воздуха до  $0,4 \text{ МПа}$ , а их производительность достигает значений более  $50 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$ .

Производство сжатого воздуха сопровождается значительным потреблением электроэнергии. Например, при получении  $10 \text{ м}^3$  сжатого воздуха под давлением  $0,6 \text{ МПа}$  с использованием поршневого компрессора затраты электроэнергии составляют  $(0,76 - 0,98) \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ , а с использованием турбокомпрессора  $(0,82 - 1,77) \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ . При этом чем выше производительность компрессора, тем ниже затраты электроэнергии на каждый  $1 \text{ м}^3$  сжатого воздуха. Следовательно, стоимость производства сжатого воздуха зависит от типа компрессора и от его производительности. Несложный расчет показывает, что сжатый воздух необходимо расходовать экономно и не допускать бесполезных утечек через неплотности в пневматических агрегатах и особенно в трубопроводах.

На принципиальных пневматических схемах условное графическое обозначение компрессора, каким бы ни было его конструктивное исполнение, согласно действующим стандартам имеет следующий вид (рис. 2.11 а).



Рисунок 2.11 – Условное графическое обозначение компрессора:

а) общее обозначение компрессора; б) обозначение линий нагнетания и всасывания приводного вала; в) обозначение привода компрессора и воздухосборника (простейшая компрессорная установка)

Незакрашенный треугольник своей вершиной, лежащей на окружности, указывает направление движения потока сжатого воздуха (рис. 2.11 б).

Изображение простейшей компрессорной установки, состоящей из воздухосборника на линии всасывания, компрессора, линии нагнетания, приводного электродвигателя и соединительной муфты, принимает, таким образом, следующий вид (рис. 2.11 в).

Чтобы производительность компрессора соответствовала изменяющемуся потреблению сжатого воздуха, необходимо регулировать давление, развиваемое компрессором, в диапазоне от максимального до минимального. На практике для регулирования в пневмосистемах применяют различные виды:

1. *Регулирование по нагрузке.* Уровень давления в напорной магистрали регулируется путем изменения частоты вращения приводного двигателя компрессора.

2. *Регулирование периодическим отключением.* При достижении заданного максимального уровня давления приводной двигатель компрессора отключается. Включение двигателя производится при снижении величины давления до минимально допустимого значения. Чтобы обеспечить приемлемую периодичность включений-выключений компрессора, необходимо иметь резервный запас сжатого воздуха на его выходе, который создается с помощью ресивера. Для предотвращения выхода воздуха из ресивера в атмосферу через неработающий компрессор на выходе последнего (в напорной магистрали) устанавливают обратный клапан (рис. 2.12).

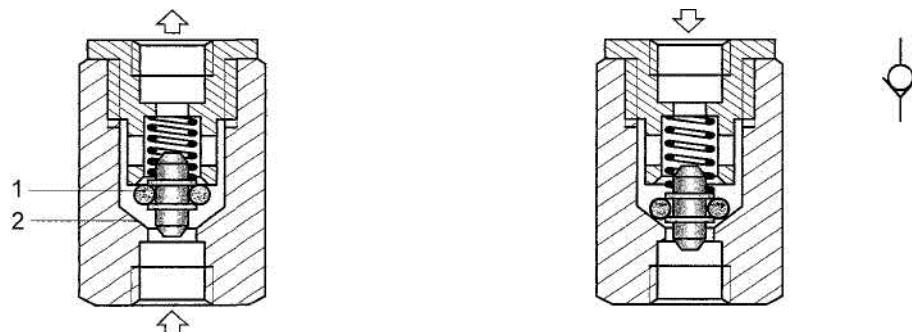


Рисунок 2.12 – Обратный клапан (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):

1 – запорный элемент; 2 – седло

Обратный клапан предназначен для пропускания потока воздуха только в одном направлении. При этом запорный элемент 1 отжимается от седла 2 клапана потоком воздуха. Когда же воздух подается в обратном направлении, клапан закрывается под действием оказываемого им давления и встроенной пружины.

3. *Регулирование холостым ходом.* Различают регулирование на входе, на выходе и коротким замыканием.

*Регулирование на входе* выполняют следующими способами:

а) прекращение подачи осуществляется путем перекрытия всасывающей магистрали компрессора;

б) всасывающий клапан компрессора удерживается открытым посредством встроенного привода, что не позволяет воздуху в рабочей камере сжиматься (рис. 2.13).

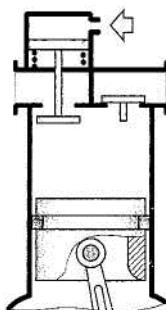


Рисунок 2.13 – Управление принудительным отжатием всасывающего клапана компрессора

*Регулирование на выходе* состоит в том, что на линии нагнетания компрессора устанавливают устройство разгрузки, через которое сжатый воздух начинает стравливаться в атмосферу при достижении максимально допустимого давления.

*Регулирование коротким замыканием* (байпассирование) заключается в том, что вход и выход компрессора закольцовывают, компрессор работает «сам на себя».

Компрессорные установки размещают в помещениях, обеспечивающих защиту от шума, создаваемого оборудованием, расположенным на основных производственных площадях. Место установки должно обеспечивать свободный доступ к компрессору для его обслуживания и эксплуатации. Чтобы свести к минимуму гидравлические сопротивления, всасывающие трубопроводы выполняют по возможности короткими и с большими проходными сечениями. Всасываемый воздух должен быть сухим, холодным и не запыленным, поэтому воздухозаборные устройства рекомендуется располагать на высоте (4 – 6) м над уровнем земли.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем принципиальное отличие компрессоров объемного и динамического действия?
2. В каком из компрессоров (поршневом или мембранным) можно получить больший перепад давлений?
3. Какие основные элементы поршневого компрессора?
4. В чем заключается преимущество центробежного компрессора по сравнению с поршневым?
5. Преимущества и недостатки пластинчатого компрессора?
6. Преимущества и недостатки винтового компрессора?
7. Какие способы регулирования производительности поршневых компрессоров, работающих на пневмосеть?

### **3 ПНЕВМОДВИГАТЕЛИ**

В пневмосистемах энергия давления сжатого воздуха преобразуется в механическую энергию исполнительных механизмов при воздействии воздуха на их рабочие органы, которыми могут служить поршень, лопатка или мембрана. Усилие, развиваемое исполнительным механизмом, пропорционально давлению в нем, а скорость движения выходного звена определяется расходом сжатого воздуха.

Широкая гамма конструктивных решений исполнительных механизмов дает возможность осуществлять множество разнообразных операций.

Исполнительными механизмами в пневмосистемах обычно являются *пневмодвигатели*.

По способу преобразования энергии сжатого воздуха пневмодвигатели делятся на:

– *объемные*, когда энергия сжатого воздуха преобразуется в механическую работу путем увеличения объема рабочей камеры (поршневые, шестеренные, ротационные, лопастные, винтовые, шаговые);

– *турбинные*, преобразующие энергию сжатого воздуха в кинетическую энергию потока, а последнюю – в механическую работу (пневмодвигатели с осевой, центробежной, струйно-реактивной, вихревой турбинами);

– *реактивные* (ракетные), преобразующие потенциальную энергию сжатого воздуха в механическую работу путем создания реактивной тяги (реактивные двигатели поступательного движения).

В зависимости от вида движения выходного звена пневмодвигателя их можно разделить на двигатели с:

– *прямолинейным движением выходного звена* (пневмоцилиндры, мембранные исполнительные механизмы);

– *поворотным движением выходного звена* (поршневые и шарнирные (лопастные) поворотные пневмодвигатели);

– *многооборотным вращательным движением выходного звена* (поршневые пневмодвигатели вращательного действия, шестеренные, пластинчатые, турбинные, винтовые, вихревые, струйно-реактивные пневмомоторы).

В отдельную группу можно выделить специальные пневматические исполнительные механизмы – вакуумные захваты, цанговые зажимы и т. п.

Все перечисленные типы механизмов имеют свои преимущества и недостатки и соответственно характеризуются некоторой предпочтительной областью применения.

#### **3.1 Пневматические цилиндры**

Пневматические цилиндры (пневмоцилиндры) являются наиболее часто применяемой конструкцией и имеют широкий диапазон основных параметров:

– диаметр поршня (2,5 – 320,0) мм;

– рабочий ход (1 – 2000) мм (в бесштоковых конструкциях до 10 м);

– развиваемое усилие (2 – 50000) Н;

– скорость движения выходного звена ( $0,02 - 1,50$ ) м/с.

По функциональным возможностям пневмоцилиндры подразделяют на два базовых типа:

– *пневмоцилиндры одностороннего действия*, у которых подача сжатого воздуха осуществляется для выполнения рабочего хода в одном направлении;

– *пневмоцилиндры двустороннего действия*, у которых полезная работа совершается как при прямом, так и при обратном ходе поршня.

### 3.1.1 Пневмоцилиндры одностороннего действия

Пневмоцилиндры одностороннего действия применяют в выталкивателях, отсекателях, в зажимных конструкциях и т. п. Рабочий ход в них осуществляется под действием сжатого воздуха, а в исходную позицию шток возвращается встроенной пружиной либо от внешней нагрузки (рис. 3.1).

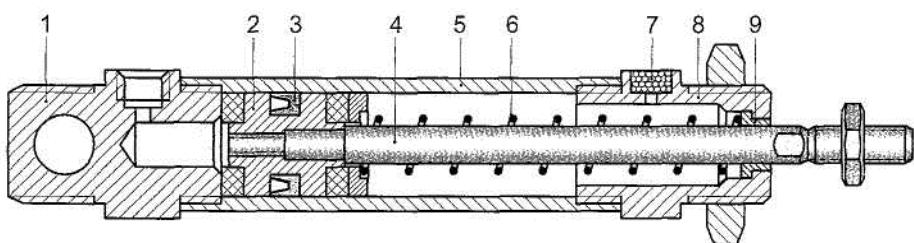


Рисунок 3.1 – Пневмоцилиндр одностороннего действия:

1 – задняя крышка; 2 – поршень; 3 – уплотнение; 4 – шток; 5 – корпус; 6 – возвратная пружина; 7 – фильтроэлемент; 8 – передняя крышка; 9 – направляющая втулка

На рис. 3.1 цилиндрический корпус 5 с обеих сторон закрыт крышками 1 и 8. В задней крышке 1 выполнено отверстие для подвода воздуха, а передняя крышка 8 имеет декомпрессионное отверстие с вмонтированным фильтроэлементом 7. Поршень 2 делит внутреннее пространство корпуса (гильзы) на две полости: штоковую и поршневую. Шток 4 жестко связан с поршнем. Полости разграничены уплотнением 3 (манжетой). Передняя 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.

Рабочий ход пневмоцилиндра осуществляется при подаче сжатого воздуха в поршневую полость; обратный ход происходит под действием встроенной пружины 6, что обуславливает меньшее потребление воздуха по сравнению с пневмоцилиндрами двустороннего действия аналогичных размеров. Кроме того, в пневмоцилиндрах одностороннего действия не требуется полная герметизация штоковой полости, постоянно связанной с атмосферой, а отсутствие дополнительных уплотнений снижает потери на трение.

Пневмоцилиндры одностороннего действия применяют в тех случаях, когда требуется передача усилия только в одном направлении, а возврат происходит беспрепятственно, а также тогда, когда из соображений безопасности должно обеспечиваться втянутое положение штока при отключении питания (падении давления сжатого воздуха в пневмосети).

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 (обычно не более 100 мм);

– увеличенные продольные габариты (прибавляется длина сжатой пружины).

Существует большое количество конструктивных исполнений пневмоцилиндров одностороннего действия, например, мембранные пневмоцилиндры (рис. 3.2).

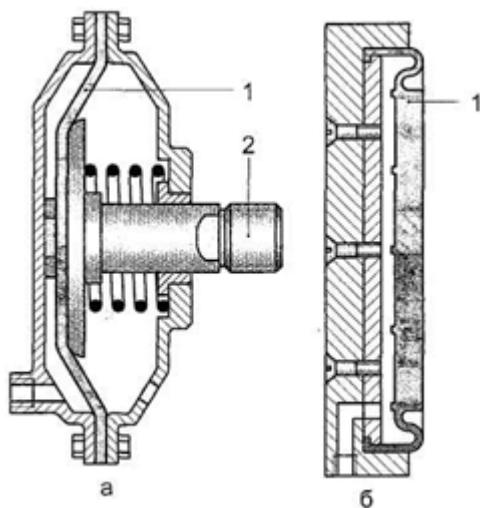


Рисунок 3.2 – Мембранный пневмоцилиндр одностороннего действия:

а) пневмоцилиндр со штоком; б) пневмоцилиндр без штока;

1 – упругая мембрана; 2 – шток

Принцип функционирования мембранного пневмоцилиндра (рис. 3.2 а) аналогичен принципу работы поршневого пневмоцилиндра одностороннего действия. Конструктивные отличия заключаются в том, что подвижной поршень заменен жестко защемленной упругой мембраной 1, изготовленной из резины, прорезиненной ткани или пластика. Благодаря большой площади мембранны такие пневмоцилиндры развивают усилия до 25000 Н, но при этом ход штока 2 ограничен. Мембранные пневмоцилиндры характеризуются существенно меньшими продольными габаритами и простотой монтажа; они недороги, и в них отсутствуют подвижные уплотнения.

Мембранный пневмоцилиндр одностороннего действия, показанный на рис. 3.2 б, предназначен для зажима деталей с целью их последующей механической обработки. В таком пневмоцилиндре отсутствует шток, а усилие передается непосредственно через мембрану 1, рабочий ход которой составляет (1 – 5) мм.

На принципиальных пневмосхемах пневмоцилиндры одностороннего действия, вне зависимости от конкретного конструктивного исполнения, обозначаются символами, приведенными на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Условные графические обозначения пневмоцилиндров одностороннего действия:

- пневмоцилиндр с рабочим ходом при выдвигании штока;
- пневмоцилиндр с рабочим ходом при втягивании штока

На рис. 3.3 а показано условное графическое обозначение пневмоцилиндра одностороннего действия, в котором рабочий ход осуществляется при выдвигании штока, а на рис. 3.3 б – при его втягивании.

### 3.1.2 Пневмоцилиндры двустороннего действия

Пневмоцилиндры двустороннего действия применяют в тех случаях, когда требуется передавать рабочее усилие при линейных перемещениях в обоих направлениях, например, при перемещении, установке, подъеме и опускании рабочих органов машин и при других производственно-технологических операциях.

Принципиальное отличие пневмоцилиндров двустороннего действия от рассмотренных выше заключается в том, что в них как прямой, так и обратный ход поршня осуществляется под действием сжатого воздуха при попаременной его подаче в одну из полостей, в то время как другая соединена с атмосферой (рис. 3.4).

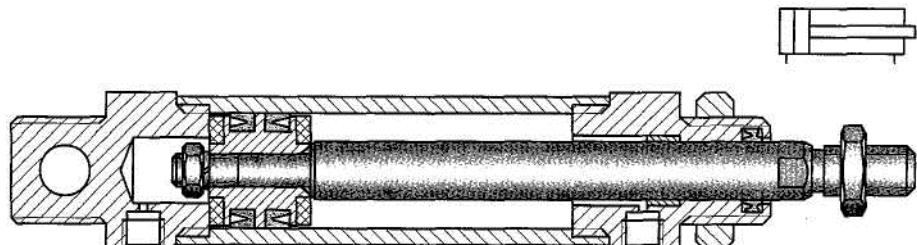


Рисунок 3.4 – Пневмоцилиндр двустороннего действия (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

Перемещение штока в любом направлении является рабочим и может осуществляться под нагрузкой. При обратном ходе поршня штоковая полость находится под избыточным давлением, что связано с необходимостью установки дополнительных уплотнений на поршне и в передней крышке для предотвращения утечек сжатого воздуха по штоку.

В поршневых пневмоцилиндрах одностороннего и двустороннего действия практически все элементы, а также способы их крепления одинаковы.

Конструктивное исполнение пневмоцилиндров может быть различным в зависимости от их типоразмера и области применения. Наиболее распространенным способом крепления корпусных деталей пневмоцилиндров с диаметром поршня до 25 мм (иногда – до 63 мм) является завальцовка гильзы в

крышках (рис. 3.5 а). Такая конструкция имеет существенный недостаток – пневмоцилиндры не подлежат ремонту.

Если диаметр поршня свыше 32 мм, то традиционным способом крепления остается стягивание крышек и гильзы шпильками (рис. 3.5 б). Удобны в эксплуатации и фактически не имеют ограничений по диаметру поршня пневмоцилиндры, крышки которых присоединены болтами к цельнотянутой спрофилированной гильзе (рис. 3.5 в).

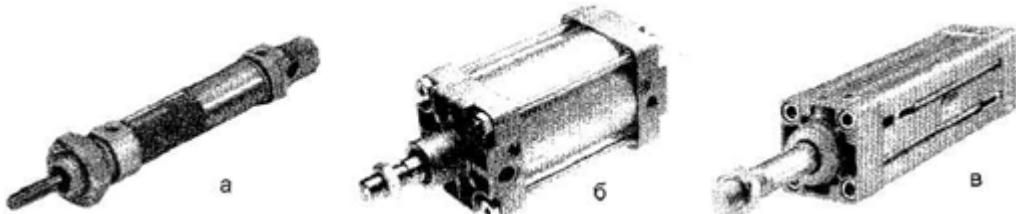


Рисунок 3.5 – Способы крепления крышек пневмоцилиндров:

- а) завальцовка гильзы в крышках;
- б) стягивание крышек и гильзы шпильками;
- в) стягивание цельнотянутой спрофилированной гильзы и крышек болтами

Технология производства цельнотянутых гильз-корпусов при необходимости позволяет выполнять в них каналы для подвода воздуха, пазы для датчиков положения поршня; придавать конфигурацию, удобную для монтажа и обслуживания.

### 3.1.3 Пневмоцилиндры с демпфированием в конце хода

Одним из преимуществ этих пневмоцилиндров является высокая – до 1,5 м/с (а в ударных цилиндрах до 10 м/с) – скорость движения выходного звена. При достижении конечного положения, когда поршень «садится» на крышку, развиваются значительные ударные усилия, что сопровождается характерным стуком. Такие 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 (рис. 3.4). 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. 3.6).

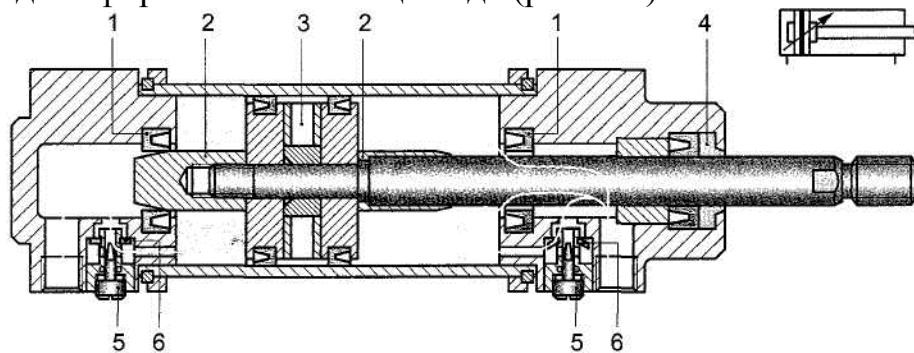


Рисунок 3.6 – Пневмоцилиндр двустороннего действия с демпфированием в конце хода (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):

- 1 – уплотнительные манжеты;
- 2 – втулки демпфера;
- 3 – кольцевой постоянный магнит;
- 4 – грязесъемное кольцо;
- 5 – дроссель;
- 6 – обратный клапан

Расширение функциональных возможностей таких цилиндров достигается путем введения в традиционную конструкцию дополнительных элементов. 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 цилинду, 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.

При очень больших инерционных нагрузках или высоких скоростях движения поршня дополнительно устанавливают внешние гидравлические амортизаторы.

Следует отметить, что пневмоцилиндр, показанный на рис. 3.6, 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.

Наличие в пневмоцилиндре регулируемых демпфирующих устройств отображается в условном графическом обозначении стилизованным изображением втулок демпферов, пересеченных стрелкой, а наличие постоянного магнита – жирной линией на изображении поршня (рис. 3.6).

Описанная конструкция пневмоцилиндров благодаря своей простоте и функциональным возможностям является наиболее распространенной и ее можно назвать типовой или даже традиционной.

Пневмоцилиндрам двустороннего действия присущ 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 положениях;
- шток хорошо воспринимает только осевую нагрузку, а радиальную – плохо.

### 3.1.4 Пневмоцилиндры с проходным штоком

В пневмоцилиндрах с проходным, или двусторонним, штоком (рис. 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.

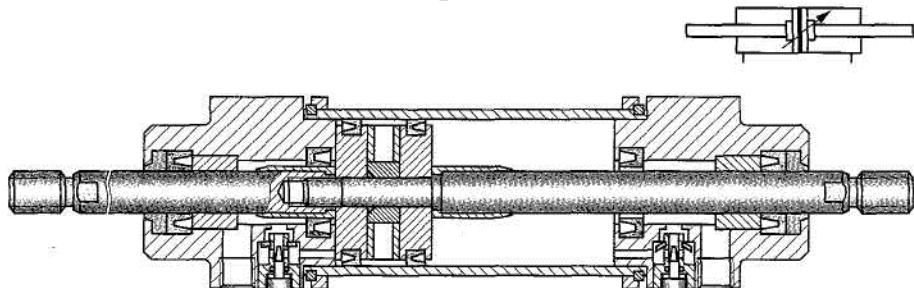


Рисунок 3.7 – Пневмоцилиндр с проходным (двухсторонним) штоком (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

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.

Применяют также пневмоцилиндры, в которых проходной шток выполнен полым, что позволяет использовать его как часть трубопровода, что в некоторых случаях является удобным конструктивным решением.

### 3.1.5 Тандем-пневмоцилиндры

В случаях, когда требуется получение значительных усилий, а поперечный размер монтажного пространства недостаточен для установки пневмоцилиндра соответствующего диаметра, применяют тандем-пневмоцилиндры (рис. 3.8).

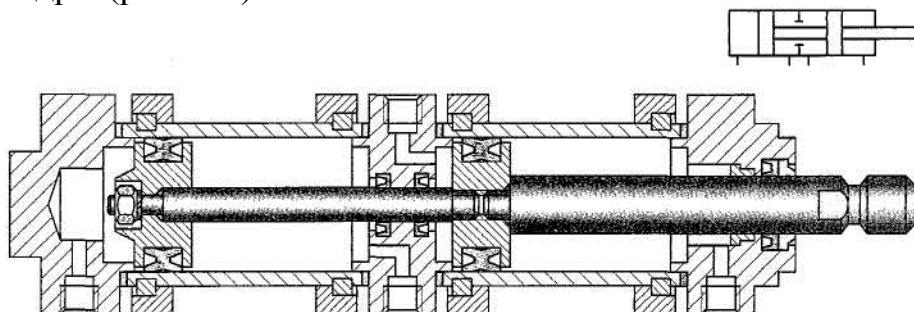


Рисунок 3.8 – Тандем-пневмоцилиндр (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

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, развивающиеся тандем-пневмоцилиндрами, фактически в два раза больше вследствие суммирования усилий, получаемых одновременно на двух поршнях.

Если необходимо увеличить развивающееся 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. 3.9, этот недостаток отсутствует.

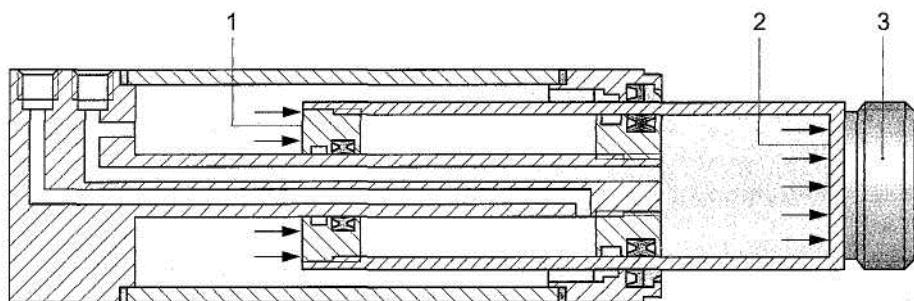


Рисунок 3.9 – Компактный тандем-пневмоцилиндр:  
1 – внешний торец полого штока; 2 – внутренний торец полого штока; 3 – шток-плунжер

В таком пневмоцилиндре развивающееся усилие увеличивается в два раза только при выдвижении штока-плунжера 3, т. к. при этом сжатый воздух действует на один внешний 1 и один внутренний 2 его торцы. При втягивании же штока цилиндр развивает незначительные усилия.

### 3.1.6 Позиционирование пневмоцилиндров

Традиционные конструкции пневмоцилиндров позволяют обеспечить две точки позиционирования штока и соответственно связанных с ними объектов – «шток втянут» и «шток выдвинут». Область эффективного применения пневмоцилиндров значительно расширяется, если реализуются остановы и удержание их выходных звеньев в некоторых заданных промежуточных точках с допустимыми позиционными ошибками. В зависимости от предъявляемых требований – числа точек позиционирования выходного звена, частоты их смены (режима работы), необходимой точности отработки приводом заданного перемещения – используют пневматические механизмы различной структуры и с различными принципами управления движением выходного звена.

Чтобы обеспечить некоторое ограниченное число точек позиционирования (более двух), применяют многопозиционные

пневмоцилиндры, состоящие из двух или более пневмоцилиндров с различными рабочими ходами.

На рис. 3.10 представлены две конструкции многопозиционных пневмоцилиндров, одна из которых (рис. 3.10 а) обеспечивает три, а вторая (рис. 3.10 б) – четыре точки позиционирования.

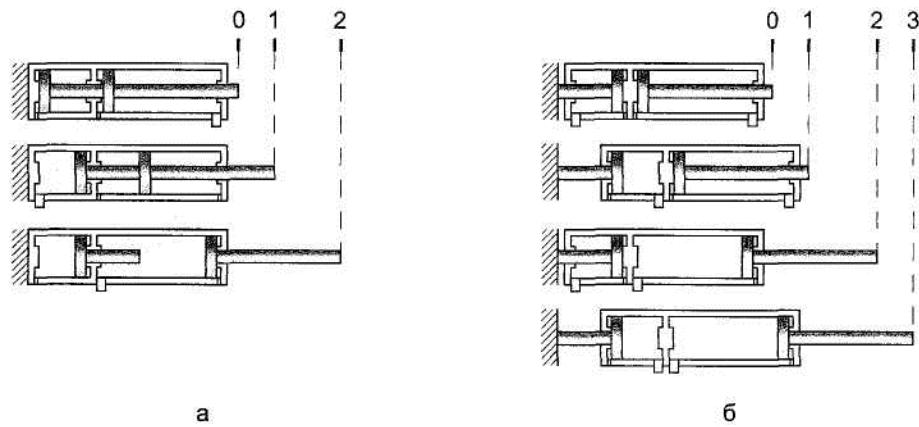


Рисунок 3.10 – Многопозиционные пневмоцилиндры:

а) на три точки позиционирования; б) на четыре точки позиционирования

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

Число точек позиционирования можно увеличить, если скомбинировать таким же образом не два, а большее число пневмоцилиндров. При этом следует учитывать, что подобные конструкции могут функционировать нестабильно, когда штоки разных цилиндров движутся в противоположных направлениях.

### 3.1.7 Пневмоцилиндры с фиксатором штока

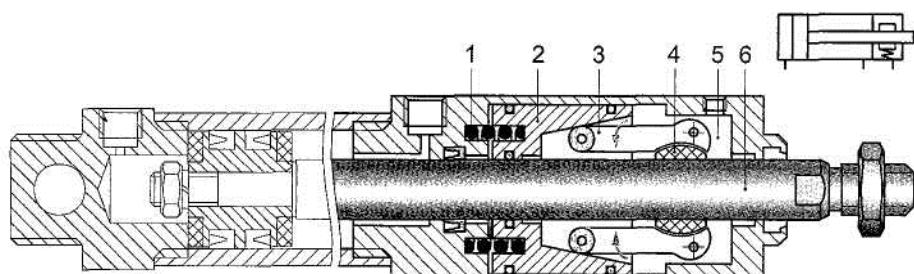


Рисунок 3.11 – Пневмоцилиндр с фиксатором штока (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):

1 – пружина; 2 – поршень; 3 – рычаг; 4 – тормозной башмак; 5 – рабочая полость; 6 – шток

Путем механического удержания штока посредством специальных устройств (рис. 3.11) можно получить фактически неограниченное число точек позиционирования.

На рис. 3.11 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.

### 3.1.8 Бесштоковые пневмоцилиндры

Там, где требуются значительные (до нескольких метров) перемещения объектов, применение пневмоцилиндров традиционного исполнения затруднительно или невозможно. Для обеспечения большого хода необходим шток соответствующей длины, что обуславливает резкое увеличение продольного габарита пневмоцилиндра. Значительные размеры консольной части штока в выдвинутом положении могут стать причиной потери устойчивости под нагрузкой.

Задачу осуществления значительных по величине перемещений при ограничениях в габаритах можно было бы решить посредством телескопических цилиндров. Однако такие цилиндры, широко используемые в гидрофицированных строительных и подъемно-транспортных машинах (например, для подъема кузовов самосвалов), практически не нашли применения в пневмоприводах по состоянию на сегодняшний день.

Так как шток предназначен только для передачи усилия от поршня к внешнему объекту, то бесштоковые конструкции, в которых усилие передается непосредственно от поршня, имеют очевидные преимущества, главное из которых заключается в как минимум двукратном уменьшении продольного габарита по сравнению с пневмоцилиндром традиционной конструкции с той же величиной хода.

Очевидно, что преимущества бесштоковых пневмоцилиндров проявляются в значительной степени при больших величинах рабочего хода.

Одним из конструктивных решений, позволяющих отказаться от штока в его традиционном значении, является пневмоцилиндр с гибким штоком (рис. 3.12).

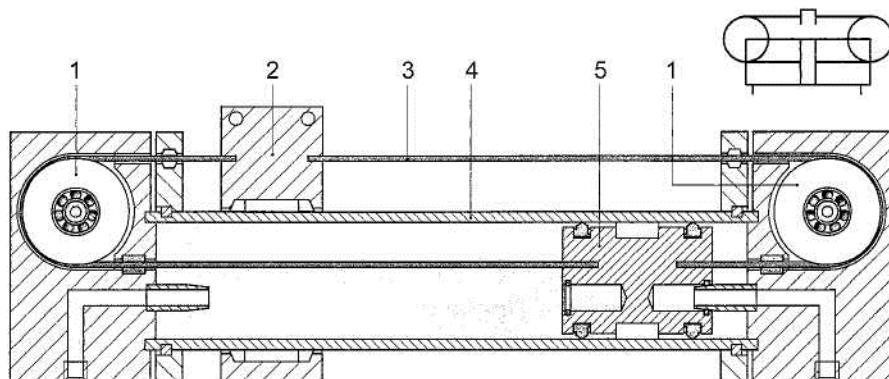


Рисунок 3.12 – Пневмоцилиндр с гибким штоком (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):

1 – ролики; 2 – каретка; 3 – трос; 4 – цилиндр; 5 – поршень

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 цилиндра 4 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.

В пневмоцилиндрах с магнитной муфтой (рис. 3.13) усилия, развиваемые поршнем, передаются на внешнюю каретку за счет сил магнитного взаимодействия.

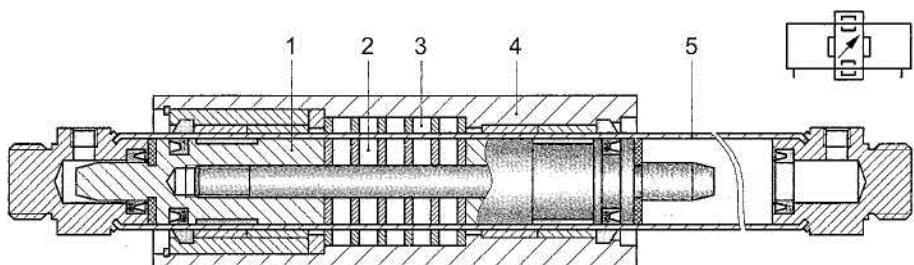


Рисунок 3.13 – Пневмоцилиндр с магнитной муфтой (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):  
1 – поршень; 2, 3 – постоянный магнит; 4 – каретка; 5 – гильза

Поршень 1 имеет набор кольцевых постоянных магнитов 2, которые взаимодействуют с кольцевыми магнитами 3, расположенными в каретке 4, охватывающей гильзу 5. 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).

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. Такие пневмоцилиндры чувствительны к перегрузкам, которые могут привести к «разрыву» муфты.

Установив дополнительные магнитные кольца, можно увеличить силу магнитного сцепления поршня с кареткой, однако в этом случае возрастает продольный габарит поршня и всей конструкции в целом.

Особенности конструктивного исполнения пневмоцилиндров с магнитной муфтой (нежесткая связь между поршнем и кареткой, эксцентричное положение нагрузки) накладывают ограничения на величины осевых и радиальных нагрузок и местонахождение точек их приложения, а также на допустимое соотношение скорости и массы перемещаемых объектов.

В настоящее время получили наиболее широкое распространение бесштоковые пневмоцилиндры, в которых усилие механически передается на нагрузку непосредственно поршнем (рис. 3.14).

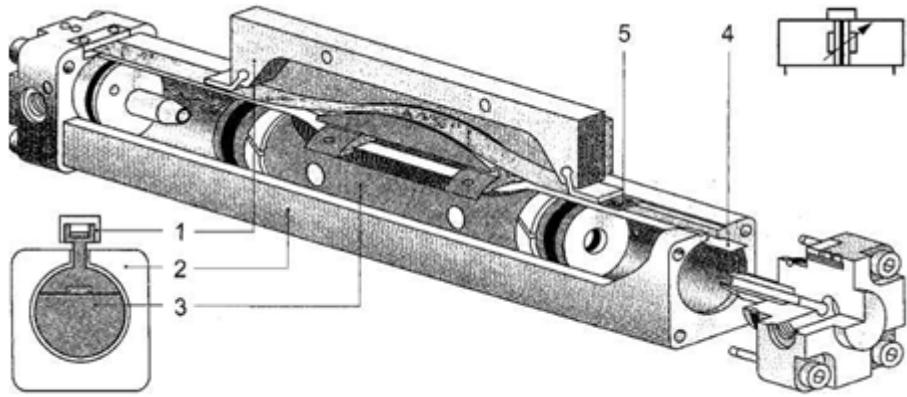


Рисунок 3.14 – Пневмоцилиндр с ленточным уплотнением (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):  
1 – каретка; 2 – гильза; 3 – поршень; 4 – металлическая или синтетическая лента; 5 – защитная лента

Гильза 2 пневмоцилindera 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 крышках. Чтобы пропустить поршень сквозь паз, часть ленты, расположенной между уплотнениями поршня, проводят через тело последнего под узкой частью. При работе пневмоцилindera 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 пневмоцилinderы, с целью их разгрузки, снабжают специальными направляющими (рис. 3.15 а) или выполняют каретку таким образом, что она передает нагрузку на гильзу-корпус (рис. 3.15 б). Подобное конструктивное исполнение позволяет обеспечить высокую точность направления движения каретки, защиту присоединенного объекта от проворота и некоторое возрастание значения полезной нагрузки на привод.

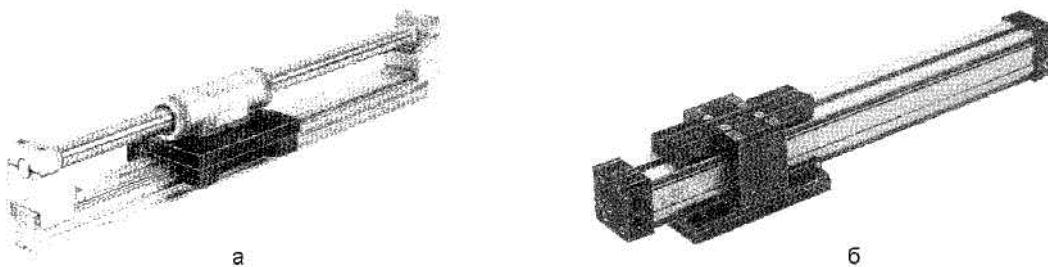


Рисунок 3.15 – Исполнение бесштоковых пневмоцилinderов, работающих в условиях значительных радиальных нагрузок:  
а) с направляющими; б) с гильзой-корпусом

### 3.2 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. 3.16).

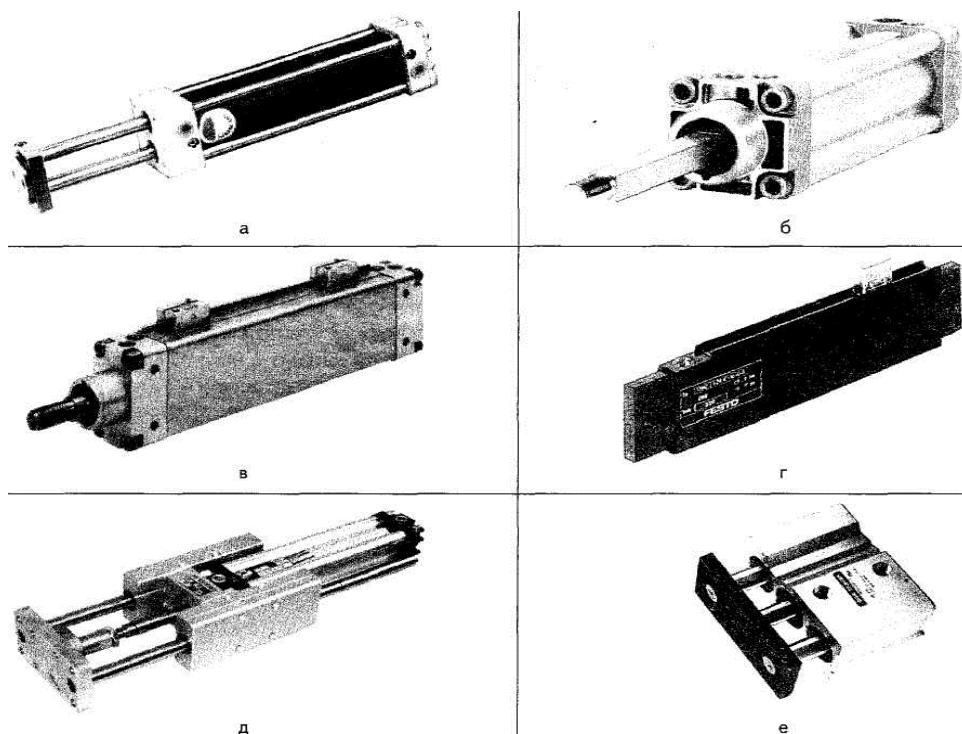


Рисунок 3.16 – Конструкции пневмоцилиндров с непропорачивающимся штоком:  
а) двухштоковая; б) шток квадратного сечения; в) с овальным поршнем; г) с прямоугольным поршнем; д) с внешними направляющими; е) с направляющими, выполненными в одном корпусе с гильзой

Крутящий момент в таких конструкциях может восприниматься: штоком (рис. 3.16 а, б); поршнем (рис. 3.16 в, г); направляющими (рис. 3.16 д, е).

При небольших значениях крутящих моментов могут использоваться конструкции с двумя штоками (рис. 3.16 а) либо с квадратным штоком (рис. 3.16 б). Более высокие значения крутящих моментов воспринимают пневмоцилиндры с овальным (рис. 3.16 в) или прямоугольным (рис. 3.16 г) поршнем. Кроме того, благодаря прямоугольному профилю гильзы такие цилиндры позволяют обеспечить высокую плотность монтажа. Если пневмоцилиндры работают в условиях значительных по величине крутящих моментов, их снабжают либо внешними направляющими (рис. 3.16 д), либо направляющими, выполненными в одном корпусе с гильзой (рис. 3.16 е).

### 3.3 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 (рис. 3.17) выпускаются различные элементы крепежа.

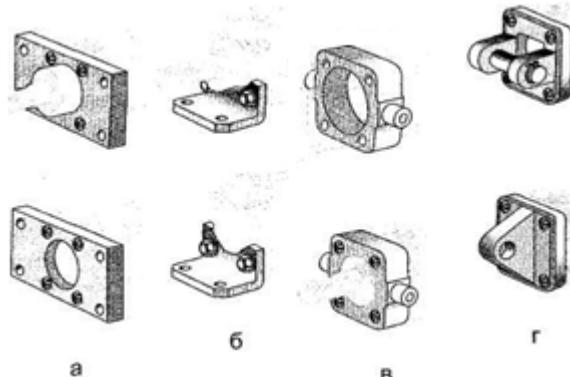


Рисунок 3.17 – Элементы крепления пневмоцилиндров:  
а) фланец; б) лапа; в) цапфа; г) поворотная ось или проушина

В случаях неподвижного монтажа, кроме варианта непосредственного крепления пневмоцилиндров, на оборудовании применяют фланцы (рис. 3.17 а) и лапы (рис. 3.17 б). Для обеспечения подвижности пневмоцилиндра во время работы используют цапфы (рис. 3.17 в), поворотные оси или проушины (рис. 3.17 г).

Соединения штока с механизмом также выполняют различными способами (рис. 3.18).



Рисунок 3.18 – Элементы соединений штоков пневмоцилиндров с ведомыми механизмами:  
а) внутренняя резьба на конце штока; б) вилкообразная головка;  
в) серьга; г) соединительная муфта

Неподвижные соединения реализуются с помощью наружной (рис. 3.18 а) или внутренней резьбы на конце штока.

Несовпадение траекторий движения конца штока и монтажного звена ведомого механизма приводит к появлению радиальных усилий на штоке и соответственно к ускоренному износу гильзы, поршня, штока, направляющих втулок и уплотнений. Если при жестком способе крепления штока вследствие условий эксплуатации или особенностей конструктивного исполнения оборудования невозможно предотвратить возникновение радиальных нагрузок на шток, необходимо применять подвижные переходные крепежные элементы

– вилкообразные головки (рис. 3.18 б), шарнирные наконечники – серьги (рис. 3.18 в) или соединительные муфты (рис. 3.18 г).

Серьги, содержащие шаровой элемент, разрешают поворот оси присоединительного отверстия на несколько градусов, а муфты допускают также и радиальное смещение штока и ведомого механизма на несколько десятых долей миллиметра.

Следует иметь в виду, что предельно допустимые осевые нагрузки на шток зависят от способа монтажа. Хотя напряжения в штоке от чистого сжатия невелики, при больших рабочих ходах возможна потеря устойчивости вследствие продольного изгиба. Устойчивость штока проверяется по обобщенной формуле Эйлера.

При монтаже необходимо соблюсти меры, исключающие возможность повреждения цилиндров (в особенности штоков) и попадания загрязнителей в их внутренние полости. Места установки пневмоцилиндров должны быть доступны для обслуживания в процессе эксплуатации.

### 3.4 Поворотные пневматические двигатели

В конструкциях путевых и некоторых других мобильных машин существует круг задач, в которых требуется не линейное перемещение выходного звена исполнительного механизма, а поворот его на заданный угол в диапазоне от 0 до 360 градусов. Для этого применяют поворотные пневматические двигатели (пневмодвигатели), чаще всего поршневые или шиберные – пластинчатые (рис. 3.19).

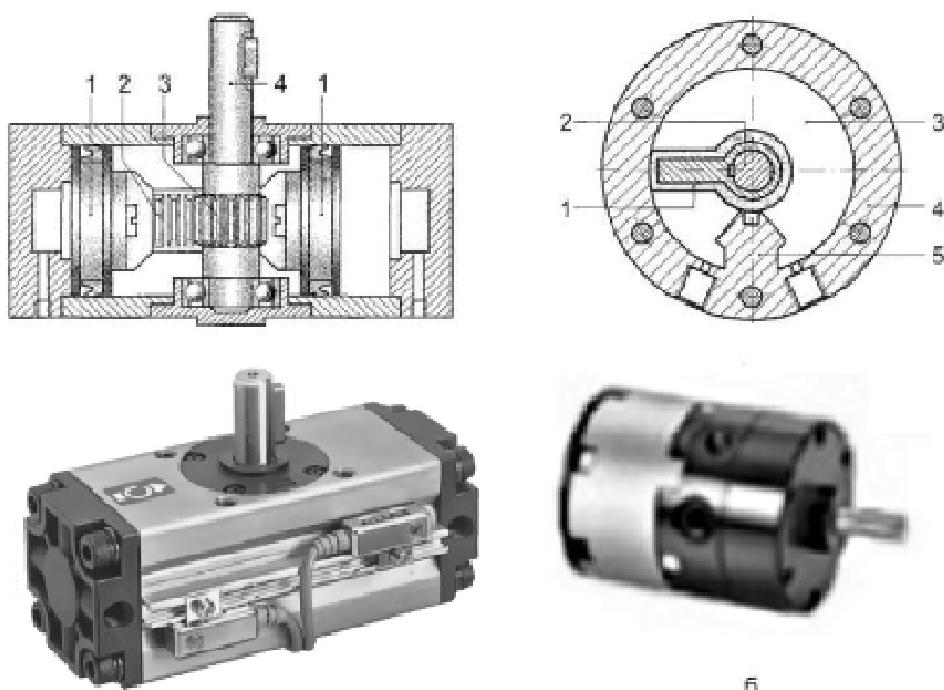


Рисунок 3.19 – Поворотные пневмодвигатели:

- а) поршневой поворотный пневмодвигатель с реечной передачей: 1 – поршень; 2 – шток-рейка; 3 – шестерня; 4 – выходной вал; б) пластинчатый (шиберный) поворотный пневмодвигатель: 1 – пластина (шибер); 2 – выходной вал; 3 – цилиндрическая расточка; 4 – корпус; 5 – ограничитель

Поршневой поворотный пневмодвигатель с реечной передачей (рис. 3.19 а) 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.

При подаче сжатого воздуха в рабочую полость одного из пневмоцилиндров поршни 1 вместе со штоком-рейкой 2 совершают прямолинейное движение, которое посредством реечной передачи преобразуется во вращательное (в пределах одного оборота) движение вала 4. Вал связан с объектом, который необходимо повернуть на некоторый угол (например, с захватным устройством промышленного робота).

Очевидно, что поршневые пневмодвигатели можно выполнить таким образом, чтобы в конце рабочего хода происходило демпфирование, а поршни были снабжены магнитными вставками с целью обеспечения возможности бесконтактного опроса их положения. В некоторых конструкциях предусматривается также регулирование угла поворота.

Максимальный крутящий момент, развиваемый поршневыми поворотными пневмодвигателями, как правило, не превышает 150 Н·м (при диаметре поршней 100 мм).

Пластинчатый (шиберный) поворотный пневмодвигатель (рис. 3.19 б) устроен таким образом, что сжатый воздух действует на жестко закрепленную на выходном валу 2 пластину 1 (шибер), расположенную внутри цилиндрической расточки 3 в корпусе 4. Чтобы предотвратить перетекание воздуха из одной рабочей полости двигателя в другую, пластину выполняют с резиновым либо пластмассовым покрытием. Угол поворота шибера зависит от размеров корпусного ограничителя 5 и в стандартных конструкциях составляет 90, 180 или 270 градусов. Для установки произвольного угла поворота такие пневмодвигатели снабжают внешними передвижными упорами. Они развивают крутящий момент до 250 Н·м.

На принципиальных пневматических схемах поршневые и пластиначатые (шиберные) пневмодвигатели обозначаются похожими символами (рис. 3.20).

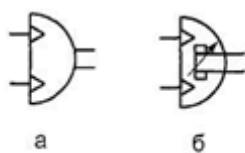


Рисунок 3.20 – Условное графическое обозначение поворотных пневмодвигателей:  
а) общее; б) с демпфированием в конце хода

Поскольку останов вращающейся массы без демпфирования или при наличии перегрузок создает опасность повреждения шестерни или лопасти, то, выбирая подходящий поворотный двигатель, очень важно правильно учесть моменты инерции приводимых во вращательное движение технологических объектов. Значения их должны быть меньше указываемых в промышленных каталогах предельно допустимых значений для выбранного типоразмера пневмодвигателя.

### 3.5 Пневмомоторы

Пневмодвигатели вращательного действия, или *пневмомоторы*, предназначены для преобразования потенциальной энергии сжатого воздуха в механическую работу и обеспечивают неограниченное вращательное движение выходного вала. Как и другие устройства, работающие на сжатом воздухе, пневмомоторы имеют ряд преимуществ, которые во многих случаях делают их использование предпочтительным с экономической и технической точек зрения. К этим преимуществам относятся:

- простота регулирования скорости вращения и крутящего момента;
- возможность полного торможения под нагрузкой без ущерба для конструкции и рабочих качеств пневмомотора;
- отсутствие перегрева;
- большой ресурс работы;
- полная взрывобезопасность;
- нечувствительность к неблагоприятным факторам внешней среды (пыль, влага и др.);
- простота монтажа.

Существует довольно много вариантов конструктивного исполнения пневмомоторов (рис. 3.21), однако не все они нашли широкое применение.



Рисунок 3.21 – Классификация пневмомоторов

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, определяемые теоретически или экспериментально при постоянной частоте вращения  $n$  (рис. 3.22).

Как видно на рис. 3.22, мощность пневмомотора достигает максимального значения  $N_{\max}$  при частоте вращения  $n_0 \sim 0,5n_{x.x}$  (где  $n_{x.x}$  – 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  $n_{nom} = (0,30 - 0,35) \cdot n_{x.x}$ , и наибольшая экономичность работы пневмомотора достигается именно при номинальной частоте вращения, а наибольшая техническая эффективность – при максимальной мощности.

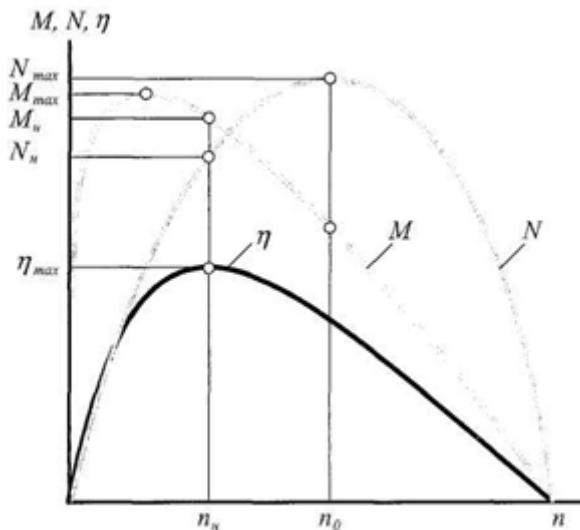


Рисунок 3.22 – Основные рабочие характеристики пневмомоторов

В паспортных характеристиках пневмомоторов обычно указывают максимальную мощность и соответствующую ей частоту вращения при рабочем давлении сжатого воздуха, а также номинальную частоту вращения.

Рабочий процесс любого пневмомотора является обратным по отношению к рабочему процессу компрессора соответствующего типа. Если в компрессоре осуществляется процесс преобразования механической энергии вращательного движения приводного вала в потенциальную энергию сжатого воздуха на выходе, то в пневмомоторе, наоборот, энергия сжатого воздуха, поступающего на вход, преобразуется в механическую энергию вращения вала.

### 3.5.1 Пластинчатые (шиберные) пневмомоторы

Принципиальная конструктивная схема шиберного (пластинчатого) пневмомотора (рис. 3.23) практически не отличается от ранее рассмотренной конструктивной схемы пластинчатого компрессора.

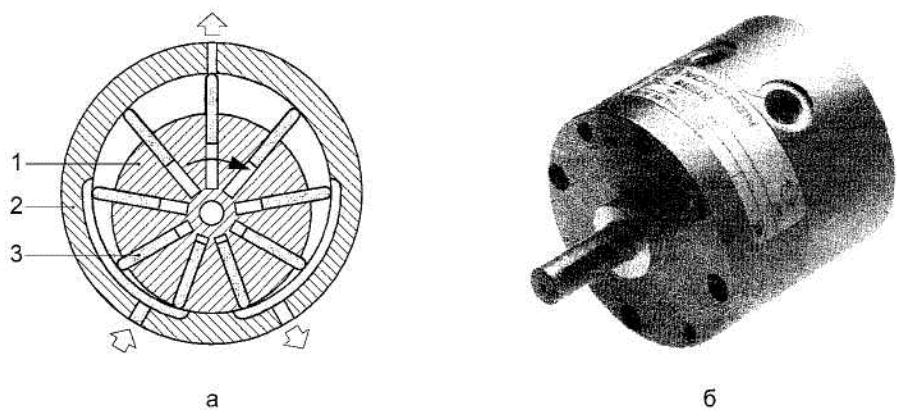


Рисунок 3.23 – Ротационный (шиберный) пневмомотор:  
а) конструкция; б) внешний вид; 1 – ротор; 2 – статор; 3 – пластина

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.

От числа пластин 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 пластинчатых пневмомоторов относятся необходимость обильной смазки и невысокая герметичность рабочих камер, что приводит к возникновению утечек воздуха, а следовательно, к снижению КПД; низкая надежность работы в связи с быстрым износом лопаток (по данным работы [8] смена лопаток производится через (200 – 250) ч работы машины); ограниченная скорость скольжения торцевых поверхностей лопаток по цилиндрической поверхности корпуса. 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.

Пластинчатые пневмомоторы широко применяют в разнообразных специальных устройствах и приспособлениях, работающих на сжатом воздухе.

### **3.5.2 Шестеренные пневмомоторы**

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 (рис. 3.24).

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.

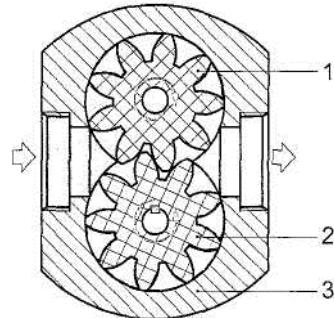


Рисунок 3.24 – Шестеренный пневмомотор:  
1, 2 – шестерни; 3 – корпус

Шестеренные пневмодвигатели просты по конструкции, легко переносят перегрузки, надежнее, чем поршневые пневмодвигатели, вследствие меньшего количества деталей, более долговечны, т. к. их долговечность определяется теми же условиями, что и долговечность обычных зубчатых передач, но имеют повышенный удельный расход рабочего тела, большой шум при работе, большую массу и габариты. В работе [8] приводятся следующие данные по изменению технических параметров шестеренного пневмодвигателя в процессе работы: через 975 ч работы его мощность снижается на 28 %, а расход сжатого воздуха повышается на 33 %.

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.

### 3.5.3 Радиально-поршневые пневмомоторы

В поршневых пневмомоторах поршню за счет энергии давления сжатого воздуха сообщается поступательное движение, а затем преобразуется механическим путем во вращательное движение выходного вала. Поршневые пневмомоторы разделяют на радиально-поршневые, в которых поршни движутся перпендикулярно оси выходного вала, и аксиально-поршневые с поршнями, движущимися параллельно оси выходного вала. Наибольшее распространение получили радиально-поршневые пневмомоторы.

#### Радиально-поршневые пневмомоторы

Конструктивная схема радиально-поршневого пневмомотора показана на рис. 3.25.

Сжатый воздух одновременно подается в две рабочие камеры пневмомотора, например, 1 и 2, через крановый распределитель 5, установленный на выходном валу. При этом соответствующие поршни, перемещаясь к нижней «мертвой точке», передают усилие на коленчатый вал через свои шатуны. После поворота вала, а вместе с ним и распределителя на некоторый угол сжатый воздух подается в рабочие камеры 2 и 3, а

отработавший воздух из камер 4 и 1 сбрасывается в атмосферу также через крановый распределитель. Далее этот цикл повторяется. Обычно радиально-поршневые пневмомоторы имеют от 4 до 6 поршней.

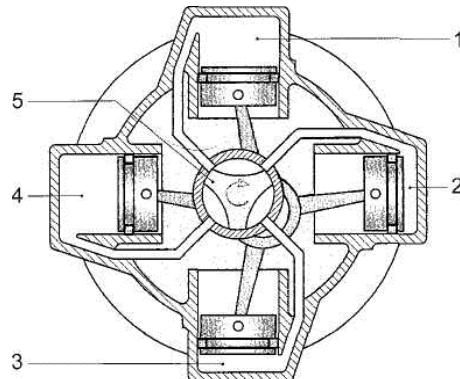


Рисунок 3.25 – Радиально-поршневой пневмомотор:  
1, 2, 3, 4 – рабочие камеры; 5 – распределитель

### Аксиально-поршневые пневмомоторы

В аксиально-поршневых пневмомоторах поршни движутся параллельно оси выходного вала. Конструктивная схема аксиально-поршневого пневмомотора с зубчатым редуктором и его внешний вид представлены на рис. 3.26.

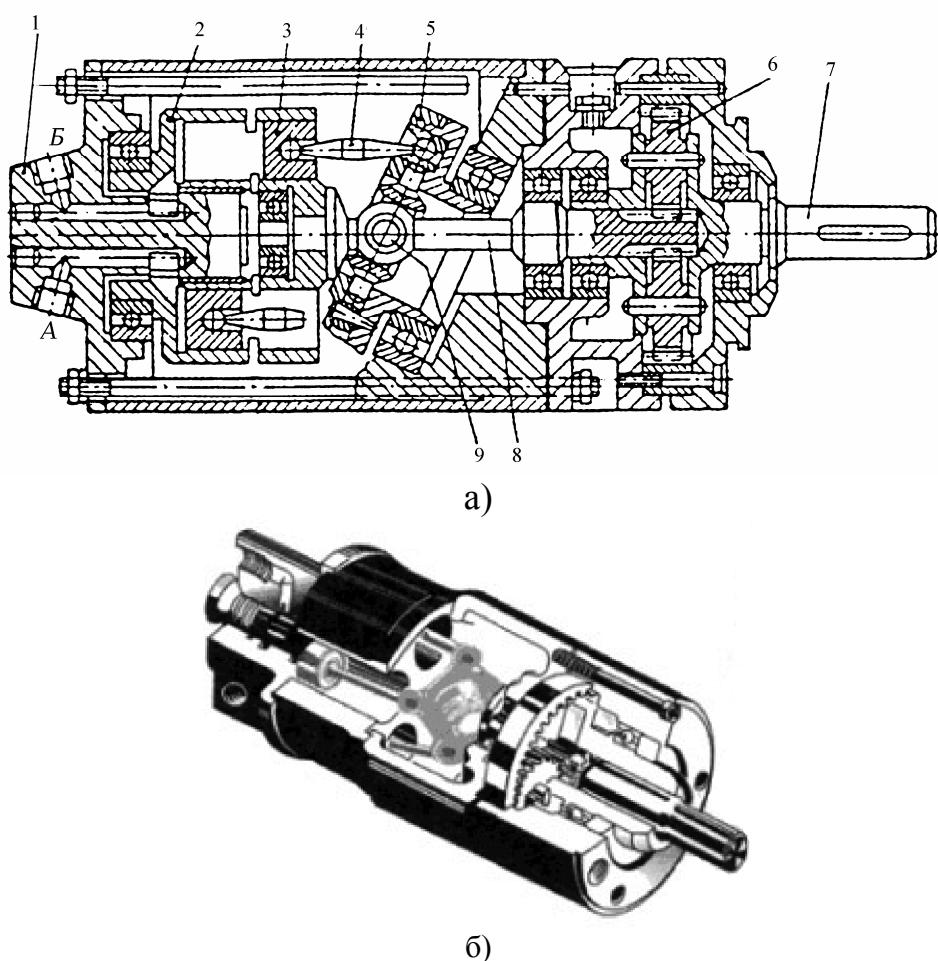


Рисунок 3.26 – Аксиально-поршневой пневмомотор:

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

Поршневые пневмомоторы имеют относительно высокий КПД, обеспечивают значительную величину крутящего момента, а следовательно, как нельзя лучше подходят в тех случаях, когда требуется преодолевать большие нагрузки. Диапазон мощностей составляет  $(0,2 - 25) \text{ кВт}$  для радиально-поршневых и  $(0,1 - 3) \text{ кВт}$  для аксиально-поршневых пневмомоторов.

К недостаткам поршневых пневмомоторов следует отнести сложность конструктивного исполнения, тихоходность (до 1500 об/мин для радиально-поршневых и до 3000 об/мин для аксиально-поршневых пневмомоторов), низкую надежность и нестабильность характеристик вследствие быстрого износа цилиндро-поршневой и золотниковой (при наличии) групп, большие габариты и вес, повышенные требования к очистке и осушке рабочего тела. При примерзании и заклинивании подвижных частей могут создаваться аварийные ситуации. По данным [8] серийно выпускаемый поршневой пневмодвигатель имеет срок службы золотника, поршневого и маслосъемного поршневых колец – 384 ч, а через 800 часов работы его мощность снижается на 25 %, расход сжатого воздуха повышается на 25 %.

Поршневые пневмомоторы применяют в больших подъемниках, в приводах различных транспортных средств.

### 3.5.4 Мембранные (шаговые) пневмомоторы

С помощью мембранного пневмомотора (рис. 3.27) 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 толкателем 6, который проворачивает зубчатое колесо 7 исполнительного механизма на определенный угол. Вместе с мембранный 4 перемещается связанный с ней шток 3. Последний соединен также и с плунжером 2, который в конце хода мембранны перекрывает канал А и открывает выходной канал Б, выпускающий воздух в атмосферу. Вследствие связи полости слева от мембранны с атмосферой давление сжатого воздуха падает до нуля, под действием пружины 5 шток 3, толкателем 6 и плунжером 2 возвращаются назад, снова открывая канал А и закрывая канал Б. Под мембранны 4 опять начнет поступать сжатый воздух, и цикл повторится.

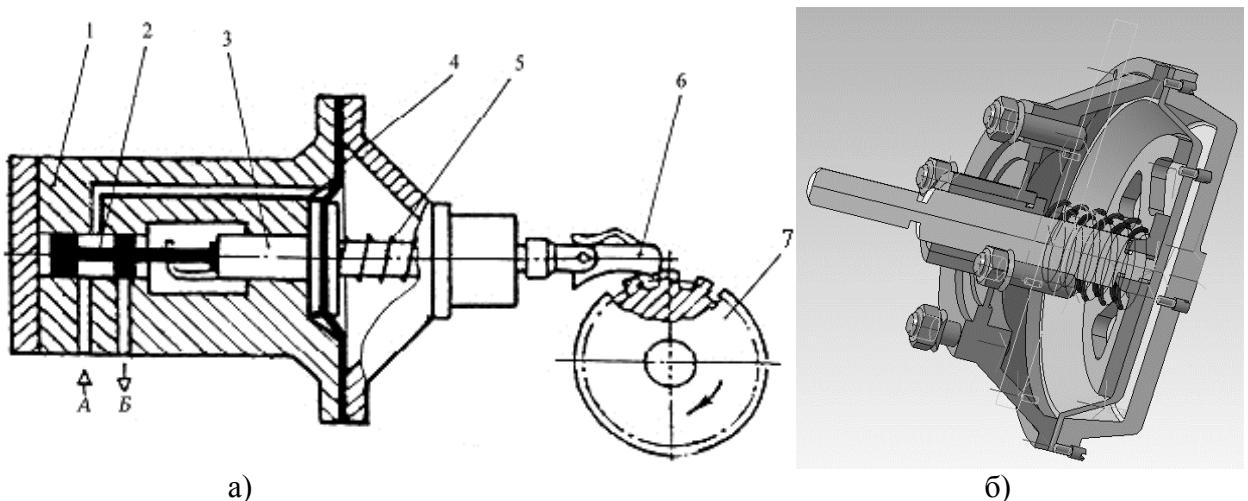


Рисунок 3.27 – Мембранный пневмомотор:  
а) конструкция; б) внешний вид; 1 – корпус; 2 – плунжер; 3 – шток;  
4 – мембрана; 5 – пружина; 6 – толкатель; 7 – зубчатое колесо

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.

### 3.5.5 Винтовые пневмомоторы

Винтовые пневмомоторы по конструкции аналогичны винтовым компрессорам.

На рис. 3.28 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.

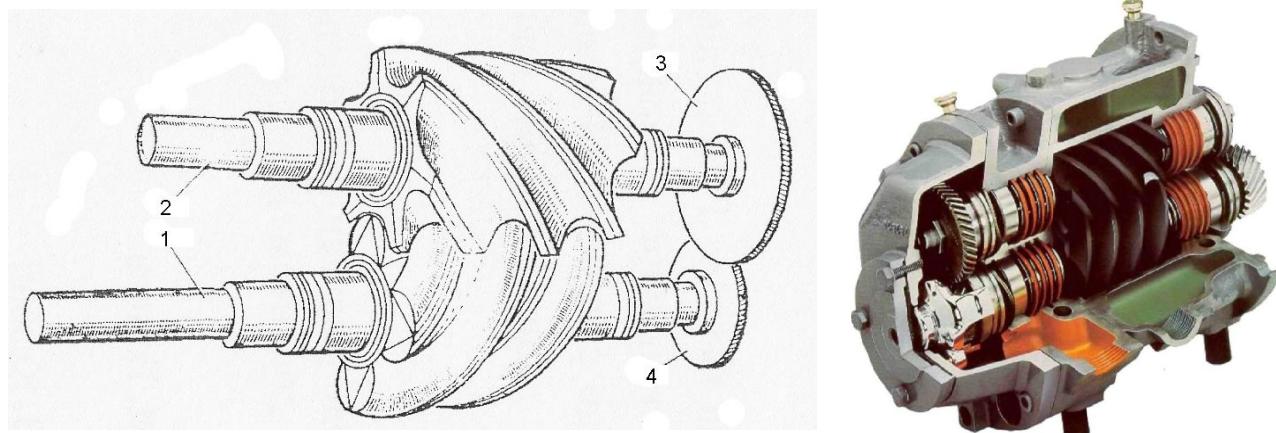


Рисунок 3.28 – Элементы конструкции винтового пневмомотора:  
а) конструкция; б) внешний вид; 1 – винт с выходным валом; 2 – винт без вала;  
3, 4 – синхронизирующие косозубые колеса

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.

### 3.5.6 Турбинные пневмомоторы

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

Среди турбинных пневмомоторов можно выделить моторы на основе классических центро斯特ремительных и осевых турбин, а также сравнительно

новые пневмомоторы с использованием струйно-реактивной турбины и вихревой турбины.

Турбинные пневмомоторы по сравнению с двигателями объемного типа (поршневым, ротационным, шестеренным, лопастным, винтовым, мембранным) имеют единственную подвижную часть – рабочее колесо, совершающее простое вращательное движение (в случае применения передаточного механизма вращательное движение совершают также детали этого механизма), поэтому их надежность и долговечность гораздо выше, так как определяются надежностью и долговечностью только подшипниковых узлов. Следствием отсутствия износа деталей проточной части турбинных пневмомоторов, кроме повышенной надежности, является стабильность выходных характеристик. Кроме того, турбинные пневмомоторы имеют малые габариты и вес (объем турбинного двигателя (компактность) и вес, как правило, в несколько раз меньше соответствующих показателей объемных двигателей), "сухую" (безмасляную) рабочую полость, они просты и безопасны в обслуживании, способны развивать значительные мощности.

### Турбинный пневмомотор с осевой турбиной

На рис. 3.28 показана конструктивная схема турбинного пневмомотора с осевой турбиной.

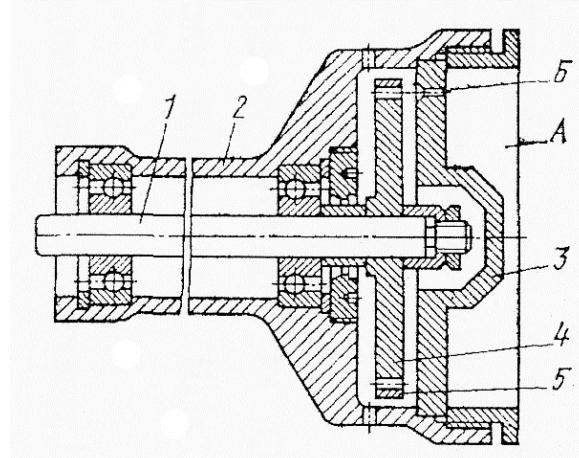


Рисунок 3.28 – Турбинный пневмомотор с осевой турбиной:

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

Рабочее колесо 4 с выходным валом 1 вращается на двух шарикоподшипниках, встроенных в корпус 2. Лопатки рабочего колеса охватываются бандажным кольцом 5. Сжатый воздух поступает в полость А и через сопла или отверстия Б в сопловом аппарате 3 подается в межлопаточные каналы рабочего колеса, при прохождении которых изменяется направление его движения, в результате чего развивается сила, приложенная к лопаткам и создающая крутящий момент; таким образом сжатый воздух отдает часть своей энергии турбинному колесу.

Основными недостатками турбинных пневмомоторов, выполненных на базе классических центробежных и осевых турбин, являются сложность изготовления и реверсирования из-за наличия специально профилированных

сопловых и рабочих лопаточных аппаратов сложной формы, высокоеоборотность, уменьшение экономичности при малых расходах рабочего тела. Для уменьшения быстроходности турбины делают либо парциальными, т. е. подводят газ к колесу на части его окружности, либо двухступенчатыми; в первом случае снижается КПД (в отдельных случаях для турбин с одиночными соплами КПД падает до (30 – 20) %), во втором случае усложняется конструкция.

Турбинные пневмомоторы с использованием центробежильных и осевых турбин позволяют получать очень высокие частоты вращения (20000 – 400000 об/мин) выходного вала и небольшие крутящие моменты на нем по сравнению с частотами и моментами, достигаемыми при использовании турбинных пневмомоторов объемного типа, поэтому их применяют там, где требуется высокая частота вращения и постоянный режим работы: для привода пневмошпинделей и в пневмоинструменте (в частности в малых высокоскоростных шлифовальных машинках для тонкой обработки).

### **Турбинный пневмомотор со струйно-реактивной турбиной**

Основными преимуществами струйно-реактивной турбины (рис. 3.29, 3.30) перед классическими турбинами (центробежильными и осевыми) являются: простота конструкции (особенно в реверсивном исполнении), низкая себестоимость изготовления, производственная технологичность, отсутствие сложных профилированных лопаточных элементов газового тракта, малая инерционность, возможность эффективно срабатывать в одной ступени большие отношения давлений, высокая надежность работы на загрязненном и влажном рабочем теле, особенно при малых расходах и низких температурах, что обусловлено сплошным (одноканальным) газовым трактом (в классических турбинах в этих условиях газовый тракт, разбитый лопатками на множество малоразмерных каналов, может перемерзать или забиваться).

На рис. 3.29 показана конструктивная схема реверсивной струйно-реактивной турбины, на рис. 3.30 – струйно-реактивный пневмодвигатель (пневмомотор) с использованием этой турбины.

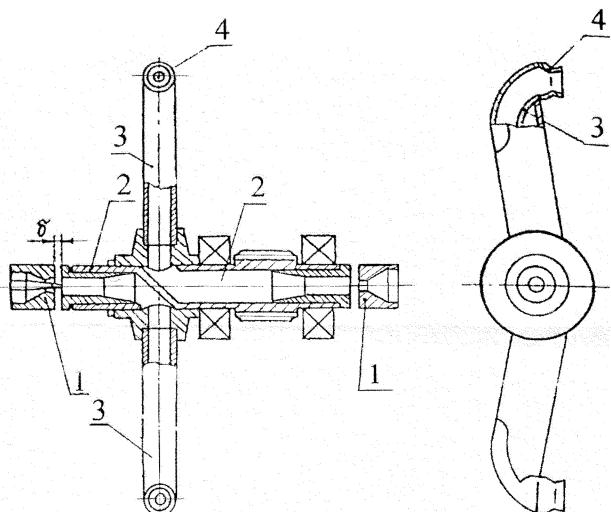


Рисунок 3.29 – Конструктивная схема реверсивной струйно-реактивной турбины:  
1 – питающее сопло; 2 – полый ротор; 3 – газовый тракт; 4 – тяговое сопло



Рисунок 3.30 – Струйно-реактивный пневмодвигатель (пневмомотор со струйно-реактивной турбиной)

Газ через питающее сопло 1 подводится в полый вал ротора 2 и далее по газовому тракту 3 – к тяговому соплу 4. В тяговом сопле потенциальная энергия сжатого газа преобразуется в кинетическую энергию струи, которая, истекая со сверхзвуковой скоростью из тягового сопла, создает реактивную силу и соответственно крутящий момент на валу турбины.

При малых диаметрах рабочего колеса (до 0,2 м) и больших отношениях давления КПД струйно-реактивной турбины может быть соизмерим с КПД классической турбины. Кроме того, ротор струйно-реактивной турбины обладает меньшим моментом инерции по сравнению с ротором классической турбины, что позволяет получить более динамичную систему, увеличивает быстродействие.

К недостаткам струйно-реактивной турбины следует отнести низкий КПД (в основном из-за большого аэродинамического сопротивления вращению ротора в окружающей среде), быстроходность (максимум КПД находится в области сравнительно высоких частот вращения), возможность эффективно работать только при сравнительно больших отношениях давлений (больше 3).

Пневмомоторы со струйно-реактивной турбиной применяются в качестве исполнительных устройств в приводах шаровых кранов больших проходных сечений, применяющихся в газовой промышленности, в разнообразных системах управления и автоматического регулирования.

### **Турбинный пневмомотор с вихревой турбиной**

Вихревая турбина (см. рис. 3.31, 3.32), в сравнении с осевой или центробежной, проще по конструкции, технологичнее и дешевле в изготовлении. В области малых расходов, малых мощностей, когда требуются

малые габариты и вес, вихревая турбина, при прочих равных условиях (снимаемая мощность, габариты, КПД), позволяет исключить основной недостаток классических турбин – высокооборотность. 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). К недостаткам вихревых турбин, полученный в настоящее время, составляет  $(30 - 40)\%$ . К недостаткам вихревых пневмомоторов можно отнести относительно низкий КПД ( $(30 - 40)\%$ ) и повышенную чувствительность к зазорам между рабочим колесом и корпусом.

На рис. 3.31 а показана конструктивная схема вихревой пневматической турбины с внешним периферийным каналом, на рис. 3.31 б – с периферийно-боковым каналом, а на рис. 3.32 – пневмомотор с вихревой турбиной. 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.

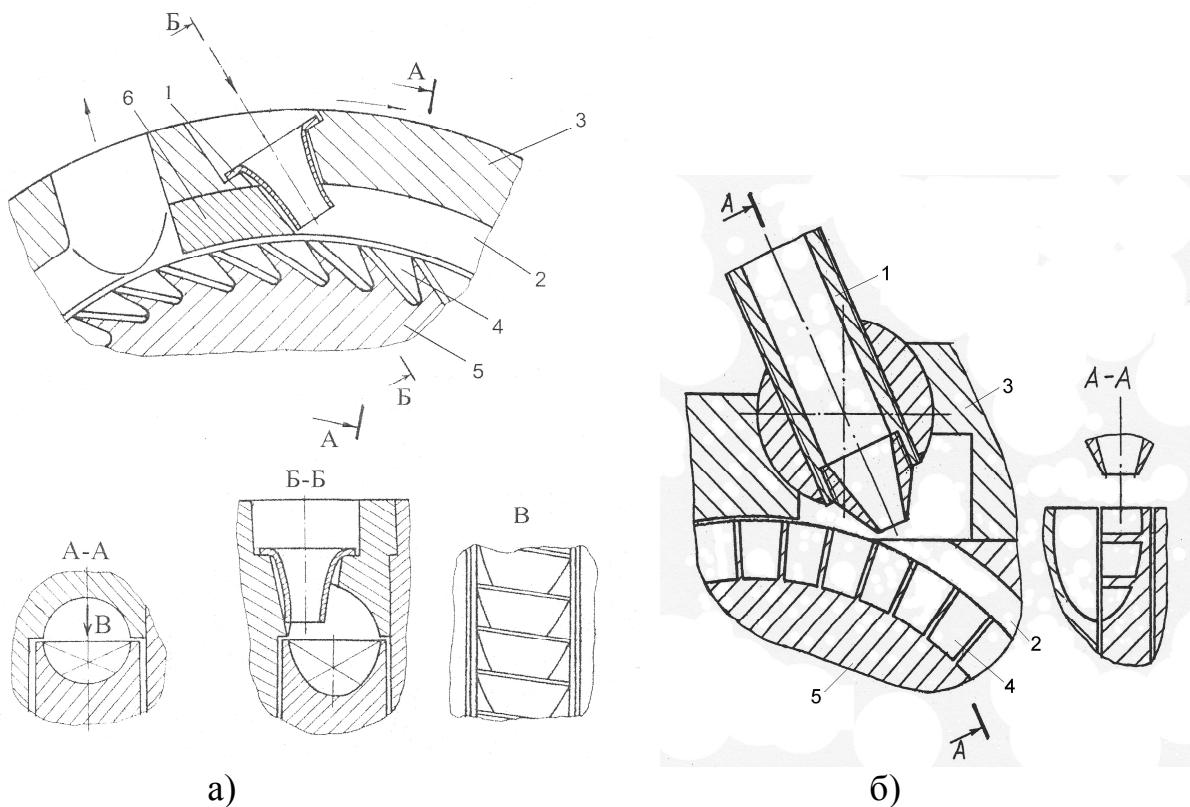


Рисунок 3.31 – Конструктивная схема вихревой ступени:

- 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

Турбина работает следующим образом: рабочее тело через сопло 1 поступает в проточную часть, образованную каналом 2 корпуса 3 и межлопаточными каналами 4 рабочего колеса 5, вращающегося в корпусе с малыми радиальными и торцевыми зазорами. Потенциальная энергия сжатого газа преобразуется в кинетическую энергию частично в сопле, а частично в

канале корпуса и межлопаточных каналах рабочего колеса. При взаимодействии потока газа с лопатками рабочего колеса происходит преобразование кинетической энергии в механическую работу на валу турбины. Из проточной части газ отводится через выходное отверстие. Частицы газа в проточной части турбины движутся по спиралеобразным траекториям от входа к выходу машины, многократно взаимодействуя с лопатками рабочего колеса и постепенно отдавая ему энергию.



Рисунок 3.32 – Внешний вид пневмомотора с вихревой турбиной

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

### 3.5.7 Выбор типа пневмомотора

Ни один из рассмотренных типов пневмомоторов не является безукоризненным, пригодным для любого случая. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, и выбор типа мотора в каждом конкретном случае должен сопровождаться всесторонней оценкой его особенностей, в том числе и экономическим анализом. Иногда бывает выгодно потерять в КПД, но выиграть в массе и размерах, или же проиграть в размерах, но выиграть в долговечности и т. д.

Самую большую частоту вращения способны развивать турбинные пневмомоторы, меньшую – мембранные, поршневые, шестеренные. Радиально-поршневые моторы рекомендуется применять при рабочих скоростях вращения ниже (25 – 30) % скорости холостого вращения, так как при этой скорости они лучше регулируются и меньше потребляют воздуха.

Пластинчатые, винтовые и турбинные моторы развивают стабильный крутящий момент, а у мембранных, поршневых и шестеренных моторов момент пульсирующий.

Наиболее высокий адиабатный КПД и наименьшие утечки сжатого воздуха имеют поршневые и мембранные моторы. КПД пластинчатых и шестеренных моторов гораздо ниже из-за значительных утечек. Снижает КПД также установка глушителей шума. КПД турбинных моторов высок лишь при больших мощностях. Расход воздуха на единицу мощности меньше у тех моторов, которые работают с частичным расширением сжатого воздуха, поэтому расход воздуха для прямозубых и косозубых шестеренных моторов превышает расход для других типов. Велик расход воздуха для турбинных моторов малой мощности.

Масса на единицу мощности наиболее низка у пластинчатых, турбинных и аксиально-поршневых моторов, вследствие чего они являются основными типами для привода ручного инструмента. Турбинные и пластинчатые моторы отличаются от других минимальными размерами.

В пневмомоторах легко осуществляется регулирование крутящего момента и частоты вращения изменением давления и расхода воздуха.

Все типы моторов, кроме мембранных и шестеренных с шевронными зубьями, могут быть выполненными реверсивными. Однако моторы с реверсированием менее мощны и потребляют больше воздуха.

Часто применяют пневмомоторы с шестеренными редукторами, что повышает крутящий момент на величину передаточного отношения и уменьшает эффект влияния изменения нагрузки на частоту вращения.

Моторы не имеют жесткой характеристики и при изменении нагрузки изменяют частоту вращения. Они могут быть остановлены под нагрузкой на любое время без опасности повреждения или нагрева их деталей.

Пневмомоторы, вне зависимости от их конструктивного типа, обозначают на принципиальных пневматических схемах, как показано в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Условные обозначения пневмомоторов на принципиальных пневматических схемах

Пневмомоторы	Нерегулируемые	Регулируемые
Нереверсивные		
Реверсивные		

### 3.6 Специальные пневматические исполнительные устройства

Существует целый ряд пневматических исполнительных устройств, которые нельзя однозначно отнести к одному из ранее описанных типов, в связи с чем такие устройства называют специальными. Рассмотрим наиболее распространенные конструкции.

#### 3.6.1 Цанговые зажимы

Цанговые зажимы широко используют в автоматизированном станочном и другом оборудовании для надежного зажатия и удержания тел вращения в процессе работы с ними (рис. 3.33).

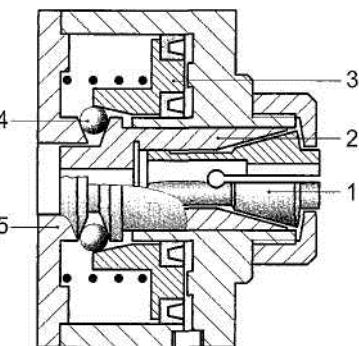


Рисунок 3.33 – Пневматический цанговый зажим:  
1 – цанга; 2 – обжимная втулка; 3 – поршень; 4 – шарик; 5 – корпус

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 клиновой 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, смешая обжимную втулку в исходную позицию.

### 3.6.2 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. 3.34 показана конструкция пневматического захвата с параллельным движением захватных пальцев.

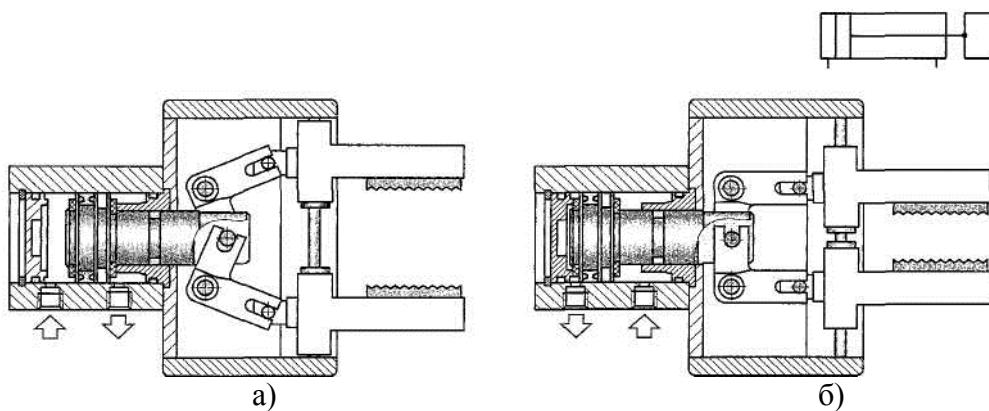


Рисунок 3.34 – Пневматический захват с параллельным движением пальцев  
(конструкция и условное графическое обозначение на схемах):  
а) разжатое положение; б) сжатое положение

При подаче сжатого воздуха в поршневую полость пневмоцилиндра двустороннего действия шток выдвигается и через кулисный механизм разводит захватывающие пальцы (рис. 3.34 а). При обратном ходе поршня пальцы сводятся (рис. 3.34 б).

По конструктивному исполнению захваты подразделяются на *параллельные* (рис. 3.35 а), *поворотные* (рис. 3.35 б) и *трехточечные* (рис. 3.35 в).

Как правило, конструкции захватов реализуют удержание объекта как по внешним, так и по внутренним поверхностям, а их приводные поршни с целью обеспечения контроля срабатывания захвата снабжают постоянным магнитом.

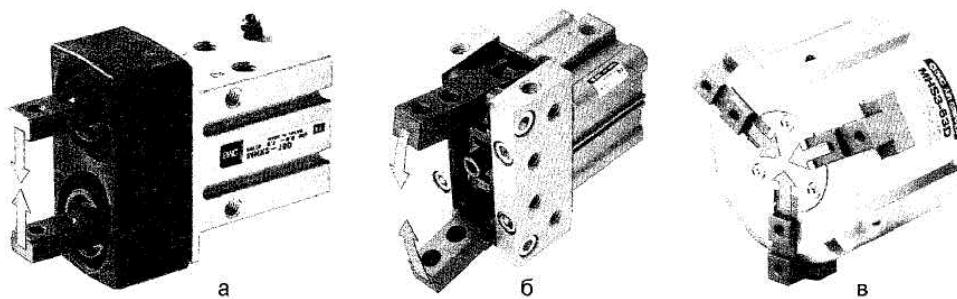


Рисунок 3.35 – Пневматические захваты:  
а) параллельные; б) поворотные; в) трехточечные

### 3.6.3 Вакуумные захваты

В вакуумных захватах объект удерживается вследствие разрежения, создаваемого в полости между эластичным захватом (присоской) и поверхностью самого объекта (рис. 3.36 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.

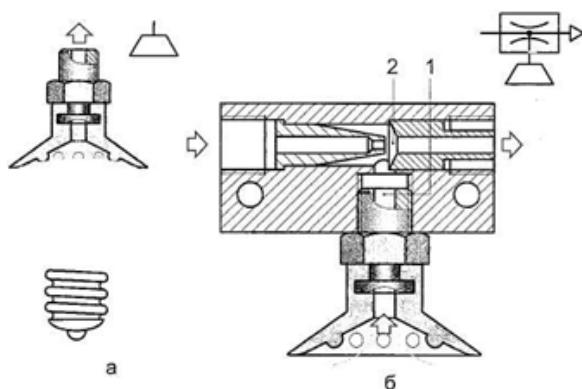


Рисунок 3.36 – Вакуумный захват (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):  
а) с присоской; б) с эжектирующим устройством

В случаях, когда необходимо обеспечить вакуум на конкретном участке технологического оборудования, применяют эжекторы (рис. 3.36 б), которые позволяют создавать вакуум в рабочем канале до  $-0,09 \text{ МПа}$  ( $-0,9 \text{ бар}$ ) при давлении на входе  $0,7 \text{ МПа}$  ( $7 \text{ бар}$ ). 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.

Помимо типовых конструкций эжекторов (рис. 3.37 а) производители элементов промышленной пневмоавтоматики выпускают эжекторные головки с принудительным отталкиванием детали от присоски с помощью сжатого воздуха после завершения операции захвата (рис. 3.37 б), а также компактные эжекторы с электромагнитным управлением процессом захвата и отталкивания заготовки (рис. 3.37 в).

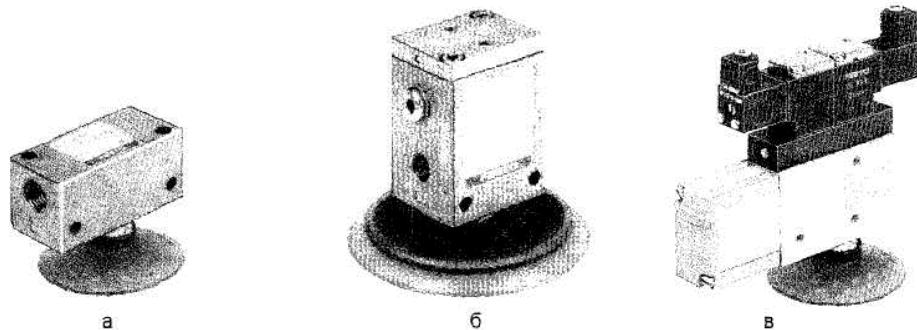


Рисунок 3.37 – Внешний вид эжектора:

- а) типовая конструкция; б) с принудительным отталкиванием детали; в) с электромагнитным управлением процессом захвата и отталкивания заготовки

Очевидно, что усилие, с которым объект удерживается в вакуумных захватах, зависит не только от глубины вакуума, но и от площади присоски (или суммарной площади нескольких присосок).

Для поддержания вакуума в системе при выходе из строя одного или даже нескольких вакуумных захватов применяют ограничители расхода сжатого воздуха – вакуумные клапаны (рис. 3.38).

При повреждении присоски или ее контакте с неочищенной поверхностью захватываемого объекта подпружиненный запорный элемент 2 прижимается к седлу 1 клапана образующимся воздушным потоком, тем самым резко ограничивая возможность попадания воздуха в вакуумную систему. В результате в систему через дроссельное отверстие запорного элемента 2 проникает только небольшая часть воздуха, благодаря чему вакуум в других захватах сохраняется.

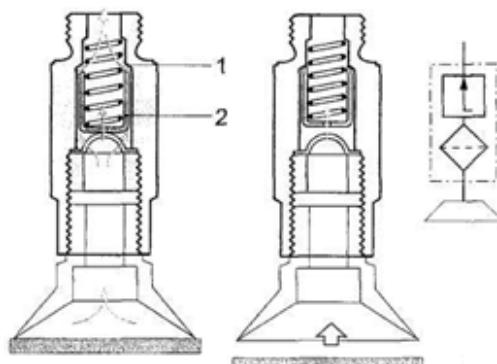


Рисунок 3.38 – Вакуумный клапан (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):

- 1 – седло клапана; 2 – дроссельное отверстие запорного элемента

В целях обеспечения надежного функционирования нескольких присосок, установленных на одной линии, каждая из них должна быть снабжена вакуумным клапаном.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Для решения каких технических задач применяется пневмодвигатель?
2. При помощи какого элемента шток пневмоцилиндра одностороннего действия возвращается в исходное положение после срабатывания?
3. Какие преимущества и недостатки мембранных пневмоцилиндра?
4. Для чего применяется демпфер в пневмоцилиндре?
5. В каких случаях применяются tandem-пневмоцилиндр и компактный tandem-пневмоцилиндр?
6. Какое преимущество пневмоцилиндра с фиксатором штока по сравнению с пневмоцилиндрами другого типа?
7. Как реализуется защита штока пневмоцилиндра от проворота?
8. При помощи какого пневматического устройства осуществляется поворот его на заданный угол?
9. Какие типы пневмомоторов вы знаете?
10. По каким параметрам производят выбор пневмомотора?

## 4 НАПРАВЛЯЮЩАЯ И РЕГУЛИРУЮЩАЯ ПНЕВМОАППАРАТУРА

Функциональное назначение направляющей и регулирующей пневмоаппаратуры заключается в управлении энергией сжатого воздуха, поступающего от источника (компрессорной станции) к потребителю (исполнительным механизмам).

В направляющих и регулирующих устройствах воздействие на поток сжатого воздуха осуществляется посредством подвижных запорно-регулирующих элементов (ЗРЭ). Назначение ЗРЭ вне зависимости от конструктивного исполнения состоит в изменении величины проходного сечения канала, через который движется воздушный поток; при этом данное изменение может быть как дискретным (канал открыт – канал закрыт), так и плавно-непрерывным. Дискретный режим работы характерен для направляющей и запорной аппаратуры, а в регулирующей аппаратуре ЗРЭ постоянно находится в «плавающем» режиме.

В зависимости от способа воздействия ЗРЭ на поток сжатого воздуха практически все устройства, входящие в направляющую и регулирующую подсистему пневмоприводов, подразделяются на два больших класса: *аппаратуру клапанного типа* и *аппаратуру золотникового типа* (рис. 4.1).

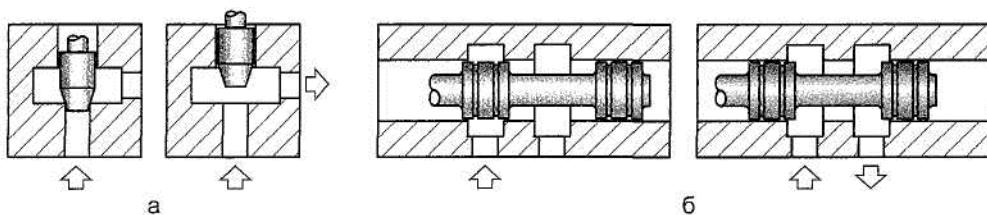


Рисунок 4.1 – Принцип действия запорно-регулирующего элемента:  
а) клапанного типа; б) золотникового типа

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 ЗРЭ 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 необходимость приложения значительных усилий для перемещения ЗРЭ, что связано с необходимостью преодоления сил, возникающих от давления сжатого воздуха на ЗРЭ, или сил сопротивления пружин, прижимающих ЗРЭ к седлу клапана.

В аппаратуре золотникового типа ЗРЭ перемещается перпендикулярно осевой линии потока. Усилие, обусловленное давлением сжатого воздуха на ЗРЭ (золотник), не приводит к какому-либо его смещению, т. к. силы давления

на торцы золотника уравновешены (золотник разгружен). Для перемещения ЗРЭ необходимо преодолеть только силы трения между ним и корпусом.

Для полного открытия рабочего канала золотник необходимо переместить как минимум на величину диаметра канала (на что требуется затратить определенное время). Зазор между золотником и расточкой корпуса является «узким» местом, учитывая возможность засорения зазора и заклинивания золотника.

Для управления небольшими по величине расходами потоками сжатого воздуха следует использовать преимущественно аппаратуру клапанного типа; а аппаратуру золотникового типа – для управления потоками воздуха с большим расходом.

#### 4.1 Пневматические распределители

Пневматические распределители (пневмораспределители) относятся к направляющей аппаратуре и предназначены для управления направлением движения потоков сжатого воздуха. Управление осуществляется путем изменения (при переключении) схемы соединения внутренних каналов распределителя с входным и выходными присоединительными отверстиями. Функциональные возможности распределителей характеризуются рядом параметров: количество рабочих каналов, количество позиций переключения, нормальная позиция, способ управления и пропускная способность.

Каждая позиция распределителя (возможная схема внутренних соединений) обозначается квадратом, в котором показаны пути потока сжатого воздуха (рис. 4.2).

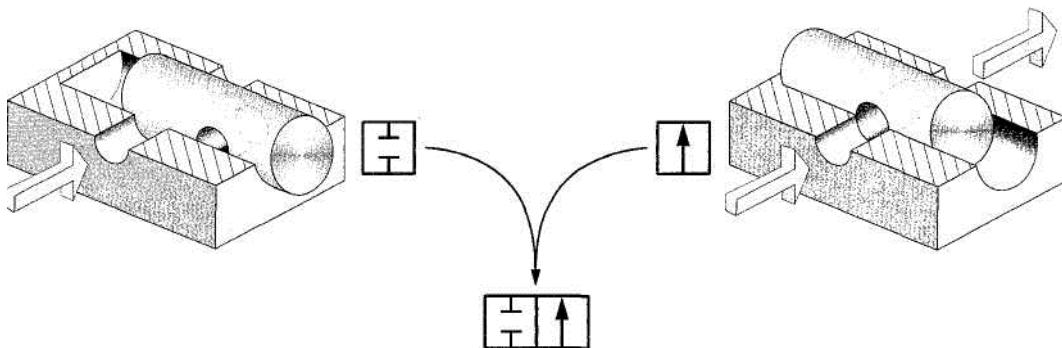


Рисунок 4.2 – Принцип формирования условного графического обозначения распределителей

На рис. 4.2 подвижной запорный элемент может занимать две дискретные позиции, соответствующие двум состояниям пневмораспределителя: 1) «проход воздуха закрыт»; 2) «проход воздуха открыт». При этом запорный элемент может коммутировать между собой две линии: 1) линию питания (вход); 2) линию потребителя (выход). Соответственно данный распределитель можно назвать двухлинейным и двухпозиционным, что и отражается в его условном графическом обозначении.

Для характеристики возможности распределителей по коммутации каналов применяют дробное цифровое обозначение, где в числителе указывают количество коммутируемых линий, а в знаменателе – количество возможных позиций. В соответствии с этим принципом аппарат на рис. 4.2 будет называться *2/2-пневмораспределителем*.

На принципиальных схемах распределители изображают так, чтобы линии связи (внешние пневматические линии) были подведены к тому квадрату, который обозначает исходную позицию распределителя.

В связи с тем, что в пневматических приводах, в отличие от гидравлических, не требуется наличия возвратной сливной магистрали, отработавший воздух можно сбрасывать непосредственно в атмосферу.

Для управления пневмоцилиндрами одностороннего действия применяют пневмораспределитель, который имеет возможность коммутировать линии питания, потребителя и выхлопа (рис. 4.3).

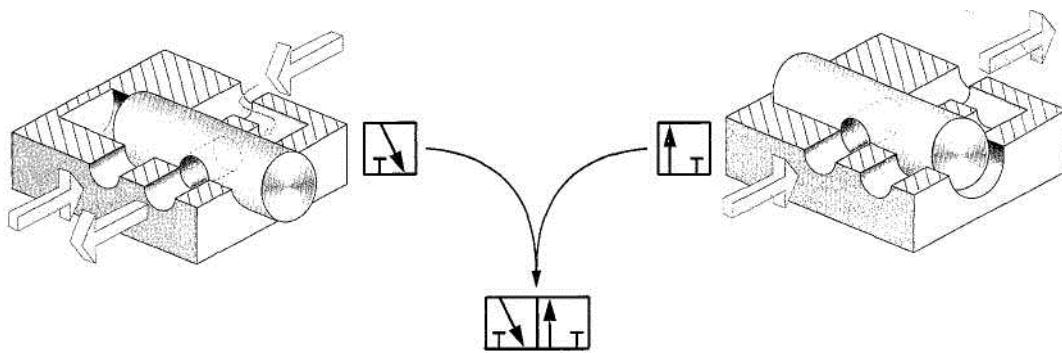


Рисунок 4.3 – Модель и условное графическое обозначение  
3/2-пневмораспределителя

3/2-пневмораспределитель коммутирует между собой три рабочих линии (рис. 4.4): 1 –линию питания; 2 –линию потребителя и 3 –линию выхлопа. При этом сам распределитель может занимать две позиции: питание перекрыто, потребитель связан с выхлопом; сжатый воздух поступает к потребителю, выхлоп перекрыт.

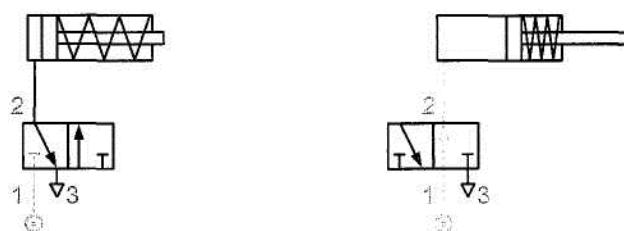


Рисунок 4.4 – Управление пневмоцилиндром одностороннего действия  
3/2-пневмораспределителем

Очевидно, что для управления пневмоцилиндрами двустороннего действия потребуются более сложные распределители, т. к. в этом случае нужно обеспечивать перераспределение потоков сжатого воздуха между двумя рабочими полостями исполнительного механизма и сброс из них отработавшего воздуха (рис. 4.5).

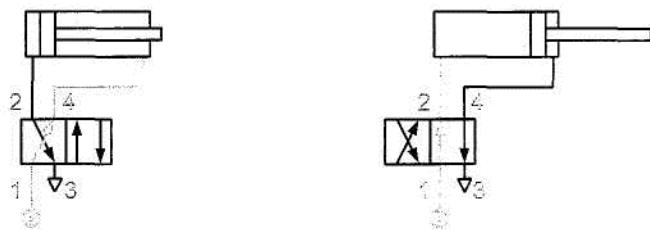


Рисунок 4.5 – Управление пневмоцилиндром двустороннего действия 4/2-пневмораспределителем

Четырехлинейный двухпозиционный пневмораспределитель (4/2-пневмораспределитель) позволяет поочередно подавать сжатый воздух из магистрали высокого давления 1 по рабочим каналам 2 или 4 в одну из полостей пневмоцилиндра с одновременным соединением другой с атмосферой 3.

На практике для управления пневмоцилиндрами двустороннего действия наиболее широко используют 5/2-пневмораспределители (рис. 4.6).

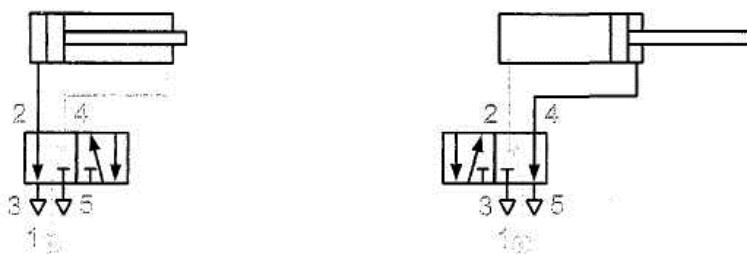


Рисунок 4.6 – Управление пневмоцилиндром двустороннего действия 5/2-пневмораспределителем

Хотя 5/2-пневмораспределители имеют более сложное графическое обозначение, они проще по конструктивному исполнению, а их функциональные возможности несколько шире, чем у 4/2-пневмораспределителей, что обусловлено наличием не одного, а двух выхлопных каналов 3 и 5, отдельных для каждой рабочей полости цилиндра.

Для решения более сложных задач управления пневмоцилиндрами используют трехпозиционные распределители, имеющие более широкие функциональные возможности. Это связано с тем, что такие распределители позволяют осуществить не два, а три варианта коммутации пневмолиний.

Нумерация каналов, использованная на приведенных выше схемах, не является случайной, а отвечает стандартам, в соответствии с которыми для обозначения рабочих и управляющих каналов пневматических аппаратов и устройств применяют определенную буквенную или цифровую индексацию (табл. 4.1).

Приведенная в табл. 4.1 индексация может быть проставлена на принципиальных пневматических схемах. Этими индексами маркируют присоединительные отверстия в корпусах пневмоаппаратов, что позволяет корректно осуществить монтаж пневмосистем.

Переключение пневмораспределителей из одной позиции в другую осуществляется перемещением их ЗРЭ посредством внешних управляющих воздействий.

Различают следующие виды управления распределителями: ручное, ножное механическое; пневматическое; электрическое; комбинированное.

Таблица 4.1 – Индексация (маркировка) линий (присоединительных отверстий) пневмоаппаратов

Наименование линии	Буквенная индексация	Цифровая индексация
Линия питания (вход)	P	1
Линия потребителя (выход)	A, B	2, 4
Линия выхлопа (сброс воздуха в атмосферу)	R, S	3, 5
Линия управления	X, Y, Z	10, 12, 14

Одна и та же базовая модель пневмораспределителя может быть снабжена различными управляющими элементами.

При чтении принципиальных пневматических схем следует иметь в виду, что управляющий сигнал, подаваемый слева, переключает распределитель в позицию, обозначенную в условном графическом обозначении этого аппарата левым квадратом, а сигнал, подаваемый справа, – в позицию, обозначенную правым квадратом.

В отличие от рабочих пневмолиний, для которых используют одноцифровые индексы, линии управления пневмоаппаратами обозначают двузначными числами.

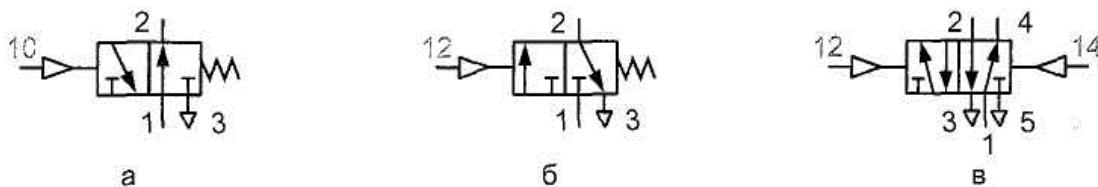


Рисунок 4.7 – Индексация линий управления пневмораспределителей

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. Так, индекс 12 (рис. 4.7 б, в) на линии управления обозначает, что при наличии в этой линии пневматического сигнала управления сжатый воздух будет поступать к потребителю по рабочей линии 2. Чтобы закоммутировать линию потребителя 4 с линией питания 1, управляющий сигнал надо подать в линию 14 (рис. 4.7 в).

Индекс 10 (рис. 4.7 а) проставляется на линиях управления нормально открытых пневмораспределителей и обозначает, что в случае поступления в эту линию сигнала управления подача сжатого воздуха потребителю прекратится (обнулится).

## 4.2 Моностабильные пневмораспределители

Пневмораспределители, которые переключаются в нормальную позицию посредством возвратных пружин, называют *моностабильными*. Нормальное для данной конструкции состояние – нейтральная (исходная) позиция.

На рис. 4.8 представлена конструкция моностабильного нормально закрытого 2/2-пневмораспределителя с механическим управлением.

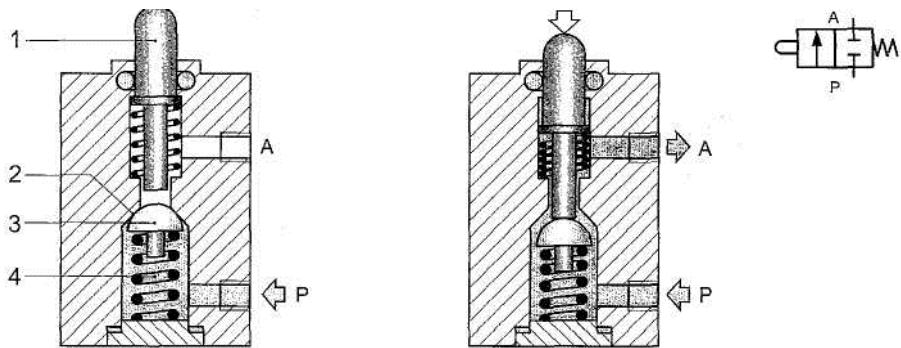


Рисунок 4.8 – Нормально закрытый 2/2-пневмораспределитель с механическим управлением (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):

1 – толкатель; 2 – седло; 3 – ЗРЭ; 4 – пружина

В исходной позиции запорно-регулирующий элемент 3 пневмораспределителя, выполненный в виде полусфера, под действием пружины 4 и давления питания прижат к седлу 2, перекрывая тем самым подачу сжатого воздуха в канал потребителя А, – т. е. пневмораспределитель нормально закрыт. При наличии внешнего управляющего воздействия, величина которого должна быть достаточной для преодоления усилия от возвратных пружин и давления, действующего на клапан 3, толкатель 1 снимает клапан 3 с седла 2, и пневмораспределитель занимает позицию, в которой каналы питания Р и потребителя А сообщаются между собой. На рис. 4.9 изображены два варианта конструктивного исполнения нормально закрытого 3/2-пневмораспределителя с механическим управлением. Отличие между ними заключается в том, что в одном (рис. 4.9 б) заложена возможность подсоединения к линии выхлопа R (например, можно ввернуть глушитель), а в другом (рис. 4.9 а) это действие осуществить нельзя.

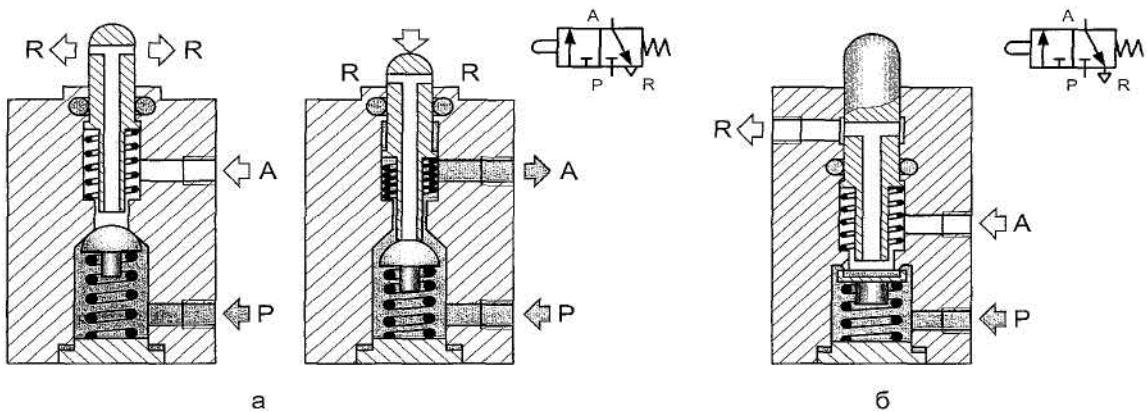


Рисунок 4.9 – Нормально закрытые 3/2-пневмораспределители с механическим управлением (конструкция и условное графическое обозначение на схемах) с возможностью подсоединения к линии выхлопа R (а) и без нее (б)

Такое различие находит отражение в условном графическом обозначении пневмораспределителей: если исключена возможность подсоединения к

отверстию выхлопа, то треугольник, указывающий на сброс воздуха в атмосферу, примыкает вплотную к обозначению пневмораспределителя; в противном случае он отделяется от последнего вертикальной чертой.

Оба пневмораспределителя срабатывают в два этапа: при движении толкателя в момент его контакта с клапаном перекрывается выполненный в нем канал выхлопа, и только при дальнейшем движении соединяются каналы питания Р и потребителя А.

Примерно по такой же схеме работает и нормально открытый 3/2-пневмораспределитель (рис. 4.10).

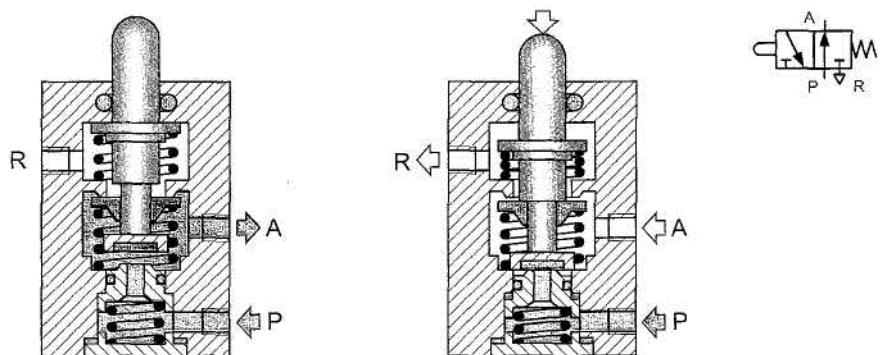


Рисунок 4.10 – Нормально открытый 3/2-пневмораспределитель с механическим управлением (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

Данная конструкция имеет два дисковых клапана, причем в исходном состоянии верхний отсекает канал выхлопа R, а через открытый нижний воздух протекает из канала питания Р к потребителю через канал А.

Движение толкателя вниз сопровождается двухступенчатым срабатыванием пневмораспределителя. На первой ступени нижний клапан, жестко связанный с толкателем, опускается на подпружиненное седло, перекрывая подачу сжатого воздуха. Верхний клапан, в свою очередь, остается поджатым к своему седлу вплоть до момента контакта с буртиком толкателя. Только после этого в результате дальнейшего совместного движения толкателя с нижним клапаном и его седлом верхний клапан открывается, и устанавливается соединение потребителя с выхлопом (вторая ступень).

Альтернативой сложным по конструктивному исполнению распределителям клапанного типа являются золотниковые распределители.

Принадлежность к классу аппаратов клапанного или золотникового типа не находит отражения в условном графическом обозначении пневматических распределителей, хотя эти типы аппаратуры существенно различаются по функциональным возможностям.

Так, 3/2-пневмораспределитель золотникового типа (рис. 4.11) можно использовать и как нормально закрытый (индексация каналов, поясняющая схему коммутации, дана без скобок), и как нормально открытый (индексация дана в скобках).

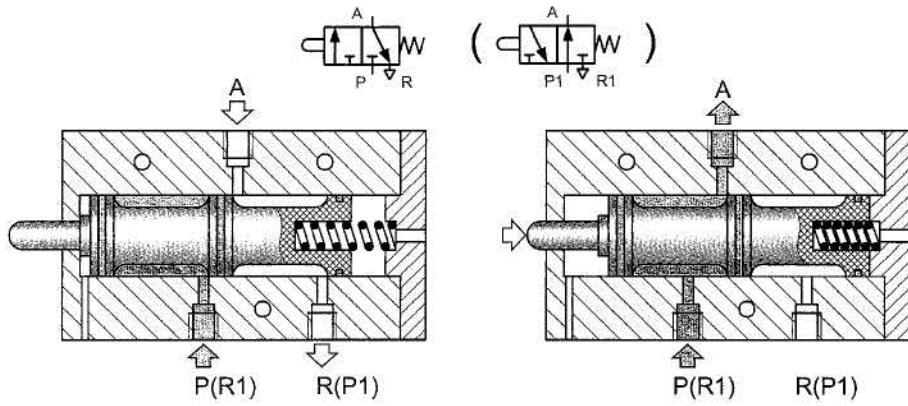


Рисунок 4.11 – Нормально закрытый 3/2-пневмораспределитель золотникового типа с механическим управлением (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

Подача сжатого воздуха в каналы Р или R не приводит к возникновению на золотнике усилий, вызывающих его смещение из нормальной позиции, т. к. и в том, и в другом случаях золотник остается гидравлически разгруженным.

Если попытаться использовать нормально закрытый пневмораспределитель клапанного типа (см. рис. 4.10) как нормально открытый (путем подачи сжатого воздуха в канал R), то в этом случае произойдет самоизвестное открытие клапана, и воздух начнет поступать во все каналы одновременно.

Обычно пневмораспределители, в конструкции которых заложена возможность использования их в качестве нормально открытых или нормально закрытых, имеют два альтернативных обозначения на бирке, которой производители снабжают каждый аппарат.

Золотниковые распределители, как правило, позволяют пропускать через себя воздух и в обратном направлении – из канала А в канал R или (при переключении) Р. Когда на принципиальной пневматической схеме важно отразить данное свойство золотникового распределителя, стрелки на его условном графическом обозначении, показывающие пути потока воздуха, изображают двусторонними.

В тех случаях, когда сжатый воздух подается к исполнительным механизмам непосредственно от пневмораспределителей с механическим или ручным управлением, говорят о прямом управлении (рис. 4.12).

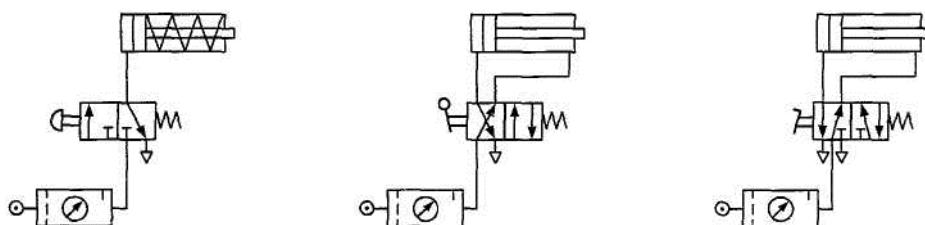


Рисунок 4.12 – Прямое управление пневмоцилиндрами

Пневмораспределители, управляющие исполнительными механизмами, также называют исполнительными.

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. 4.13).

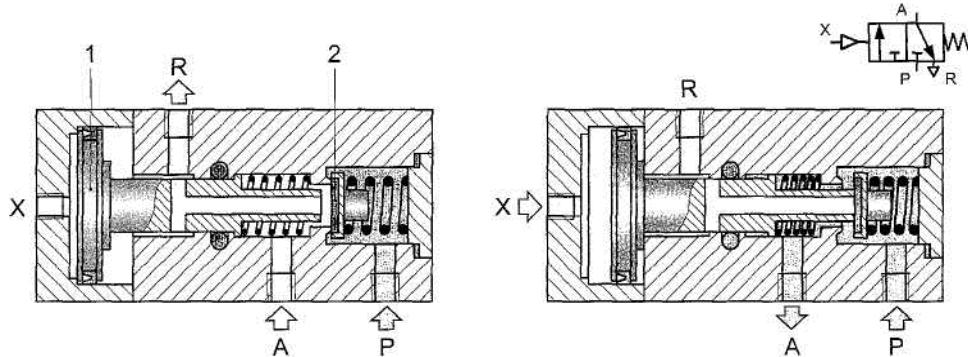


Рисунок 4.13 – Нормально закрытый 3/2-пневмораспределитель с пневматическим управлением (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

Рассмотрим схему управления пневмоцилиндром одностороннего действия с использованием распределителя с пневматическим управлением (рис. 4.14).

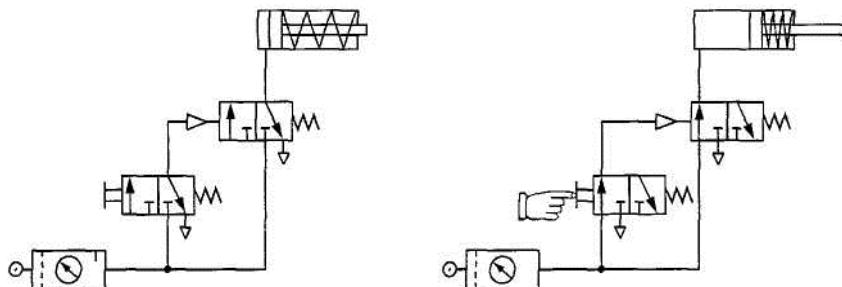


Рисунок 4.14 – Непрямое управление пневмоцилиндром одностороннего действия (исполнительный распределитель – нормально закрытый)

В предложенной схеме пневмораспределитель с ручным управлением (пневмокнопка) управляет работой пневмоцилиндра путем подачи сигнала на исполнительный распределитель с пневматическим управлением.

Схема несколько видеоизменится, если исполнительный пневмораспределитель будет нормально открытым (рис. 4.15).

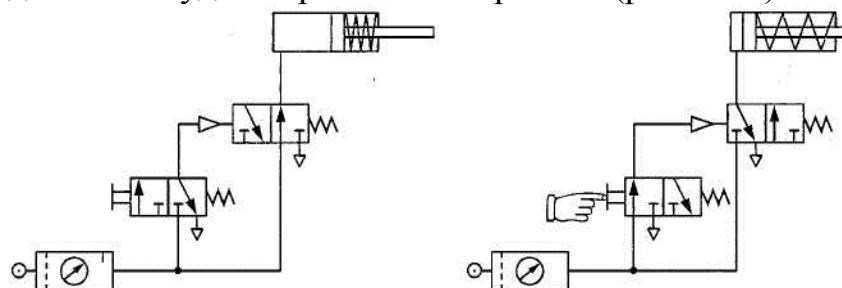


Рисунок 4.15 – Непрямое управление пневмоцилиндром одностороннего действия (исполнительный распределитель – нормально открытый)

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. 4.16).

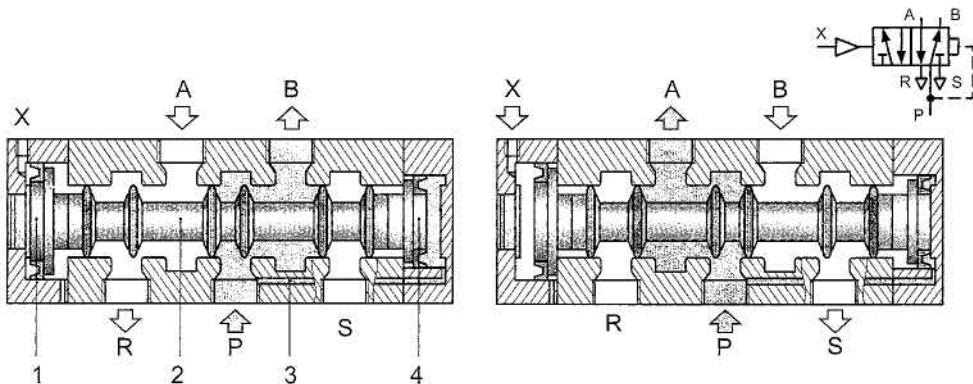


Рисунок 4.16 – 5/2-невмопролетитель с пневматическим управлением и возвратом (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):  
1 – левый поршень; 2 – золотник; 3 – канал; 4 – правый поршень

В исходной позиции золотник 2 находится в крайнем левом положении, т. к. на его правый поршень 4 через специальный канал 3, связанный с линией питания, подается сжатый воздух. При поступлении управляющего сигнала в канал X золотник 2 сместится вправо, поскольку площадь левого поршня 1 значительно больше площади правого поршня 4.

В некоторых конструкциях возврат ЗРЭ в исходную позицию осуществляется под действием одновременно и механической, и пневматической пружин. Такое сочетание обеспечивает более высокую стабильность и надежность переключения пневмораспределителя.

В тех случаях, когда имеются технологические ограничения на величину управляющих сигналов, применяют распределители с пневматическим усилением управляющего сигнала (пилотным управлением) (рис. 4.17).

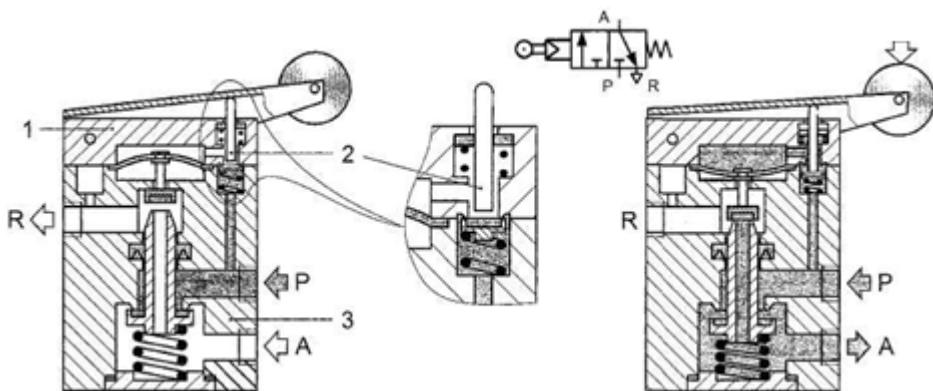


Рисунок 4.17 – 3/2-невмопролетитель с пневматическим  
усилением управляющего сигнала (конструкция и  
условное графическое обозначение на схемах):

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

В таких конструкциях (в данном случае это путевой выключатель) усилие переключения прикладывается к небольшому вспомогательному (пилотному) распределителю 2, функцией которого является подача пневматического сигнала управления на основной пневмораспределитель 3, непосредственно осуществляющий коммутацию внешних пневмолиний. Поскольку площадь клапана пилотного распределителя невелика, то усилие, необходимое для переключения последнего, минимально.

Рассмотренная конструкция позволяет трансформировать нормально закрытый пневмораспределитель в нормально открытый. Для этого надо развернуть управляющую головку с роликом 1 на  $180^\circ$  и подавать сжатый воздух в канал R.

В тех случаях, когда требуется контролировать какой-либо объект при его движении только в определенном направлении, применяют распределители с управлением от «ломающегося» рычага с роликом (рис. 4.18).

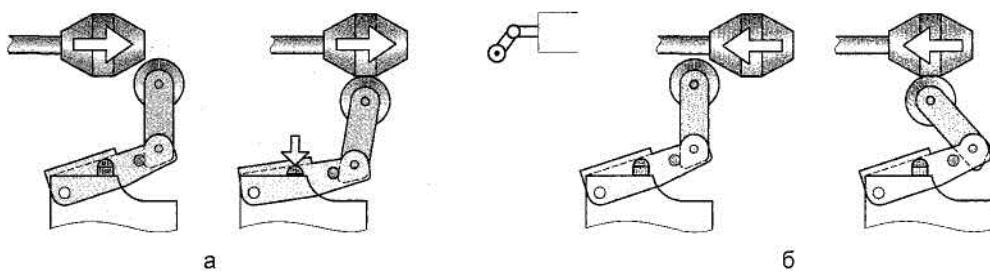


Рисунок 4.18 – Принцип действия «ломающегося» рычага с роликом:  
а) прямое движение штока; б) обратное движение штока

Конструкция рычага выполнена таким образом, что он воздействует на толкатель пневмораспределителя только в том случае, если движение штока пневмоцилиндра или другого контролируемого объекта происходит в определенном направлении (рис. 4.18, а). Пневмораспределитель не срабатывает при движении объекта в противоположном направлении, поскольку рычаг с роликом проворачивается на оси («ломается») и не передает управляющее воздействие на толкатель (рис. 4.18, б).

Управление сложными объектами с пневматическими приводами базируется преимущественно на электрических и электронных системах, имеющих широкие возможности сбора, обработки информационных и формирования управляющих электрических сигналов, а также высокое быстродействие. 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. 4.19).

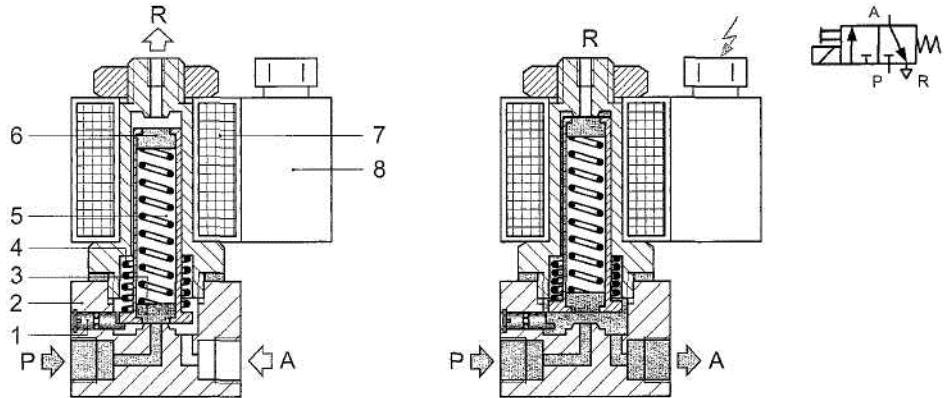


Рисунок 4.19 – 3/2-пневмораспределитель с электромагнитным управлением и ручным дублированием (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):

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

Если электромагнитная катушка 7 обесточена, якорь 5 прижат пружиной 4 к седлу клапана 3, перекрывая канал Р, по которому подводится сжатый воздух; выходной канал А соединен с атмосферой через пазы на наружной поверхности якоря. Напряжение на катушку 7 подается через присоединительный элемент – коннектор 8, при этом якорь 5, преодолевая усилие пружины 4, поднимается до седла клапана 6, закрывая канал R выхода воздуха в атмосферу и открывая канал, соединенный с отверстием для подведения сжатого воздуха. Сжатый воздух подается в линию потребителя (канал А).

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). Включают пневмораспределитель нажатием или проворотом специального устройства (рис. 4.19, поз. 1) механически поднимающего якорь с седла клапана. После проверки работоспособности распределителя элемент ручного управления необходимо выставить в положение не препятствующее свободному перемещению якоря.

К моностабильным пневмораспределителям, относится большое число трехпозиционных распределителей. Обычно нормальной для них является средняя позиция, в которую они выставляются посредством двух пружин, центрирующих их запорно-регулирующий элемент. Так, используя 5/3-пневмораспределитель с двусторонним пневматическим управлением и закрытой центральной позицией, можно обеспечить останов пневмоцилиндра в любом промежуточном положении (рис. 4.20).

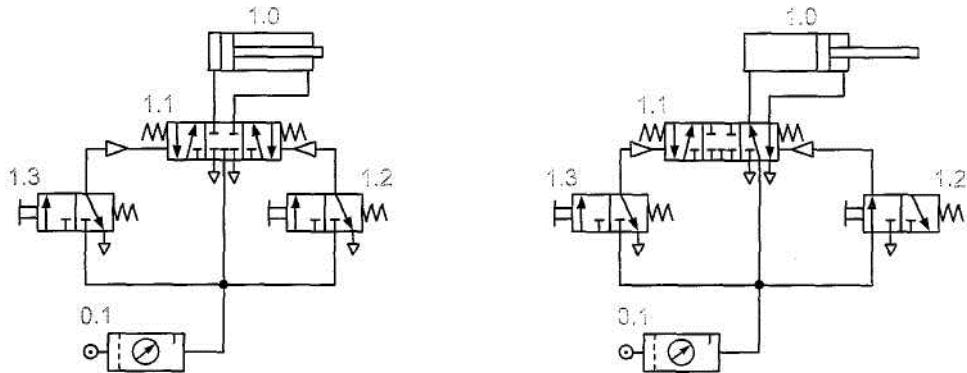


Рисунок 4.20 – Использование 5/3-пневмораспределителя для позиционирования пневмоцилиндров

При нажатии на одну из пневмокнопок, например 1.3, шток цилиндра 1.0 начнет перемещаться, а при отпускании ее он остановится, поскольку исполнительный распределитель 1.1 займет центральную позицию, в которой все линии перекрыты (при этом точность позиционирования цилиндра будет достаточно низкой).

На принципиальных пневмосхемах условному графическому обозначению каждого пневмоустройства присваивают буквенно-цифровое позиционное обозначение по ГОСТ 2.704-76 или цифровой индекс, формируемый по определенным правилам (табл. 4.2).

Индексы всех элементов, управляющих исполнительным механизмом 1.0, начинаются с цифры 1, управляющих исполнительным механизмом 2.0 – с цифры 2 и т. д. Это означает, что где бы «территориально» на схеме ни располагался элемент (например, 1.10), он будет находиться в ветви управления соответствующим исполнительным механизмом (в нашем случае – 1.0).

Таблица 4.2 – Цифровая индексация пневматических устройств

Наименование устройства	Индекс
Аппаратура подготовки сжатого воздуха	0.1, 0.2, 0.3, ...
Исполнительные механизмы (ИМ)	1.0, 2.0, 3.0, ...
Исполнительные распределители	1.1, 2.1, 3.1, ...
Устройства, подающие сигналы на выдвижение штока цилиндра (после точки – четное число)	1.2, 1.4, 1.6, ... (для 1-го ИМ) 2.2, 2.4, 2.6, ... (для 2-го ИМ)
Устройства, подающие сигналы на втягивание штока цилиндра (после точки – нечетное число)	1.3, 1.5, 1.7, ... (для 1-го ИМ) 2.3, 2.5, 2.7, ... (для 2-го ИМ)
Регуляторы скорости и устройства, расположенные между исполнительными механизмами и исполнительными распределителями (будут рассмотрены ниже)	1.01, 1.02, ... 2.01, 2.02, ...

В тех случаях, когда невозможно придерживаться правила использования четных и нечетных цифр после точки в зависимости от типа команды (втягивание или выдвижение штока цилиндра), применяют сквозную индексацию.

### 4.3 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. В качестве примера рассмотрим отсечный нормально закрытый 3/2-пневмораспределитель с ручным управлением (рис. 4.21), предназначенный для подачи сжатого воздуха в пневмосистему и сброса из нее.

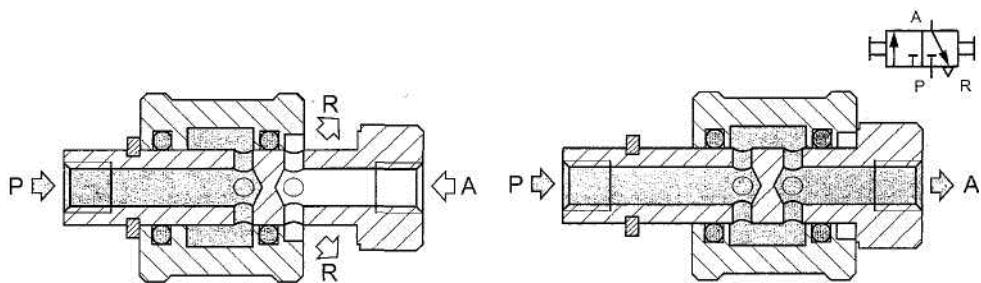


Рисунок 4.21 – Отсечный нормально закрытый 3/2-пневмораспределитель с ручным управлением (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

Данный распределитель может находиться в одной из двух возможных позиций переключения сколь угодно долго, поскольку в его конструкции отсутствуют элементы, однозначно определяющие положение запорно-регулирующего элемента.

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

Для пояснения сказанного рассмотрим, например, две схемы управления воротами с пневматическим приводом (рис. 4.22).

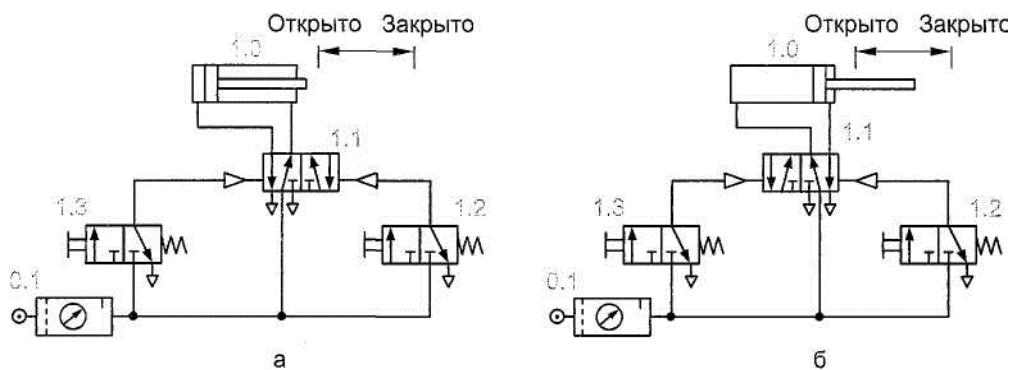


Рисунок 4.22 – Использование бистабильного 5/2-пневмораспределителя для управления пневмоцилиндром с двумя вариантами исходной позиции пневмораспределителя: с втянутым (а) и с выдвинутым (б) штоком

Несмотря на то, что в схеме рис. 4.22 а исходная позиция бистабильного пневмораспределителя 1.1 обеспечивает втянутое положение штока пневмоцилиндра, а в схеме рис. 4.22 б – выдвинутое, мы имеем дело, по существу, не с двумя схемами, как может показаться на первый взгляд, а с одной и той же, но описывающей различные исходные состояния пневмопривода. Очевидно, что после кратковременного нажатия на пневмокнопку 1.2 схема рис. 4.22 а трансформируется в схему рис. 4.22 б, а схема рис. 4.22 б после кратковременного воздействия на кнопку 1.3 – в схему рис. 4.22, а.

Бистабильные пневмораспределители способны «запоминать» последний поданный сигнал управления. Действительно, и в 4/2-пневмораспределителе с плоским золотником (рис. 4.23 а), и в 5/2-пневмораспределителе (рис. 4.23 б) даже после снятия сигнала в линии управления X переключающий элемент остается в крайнем правом положении до тех пор, пока не поступит команда в линию управления Y.

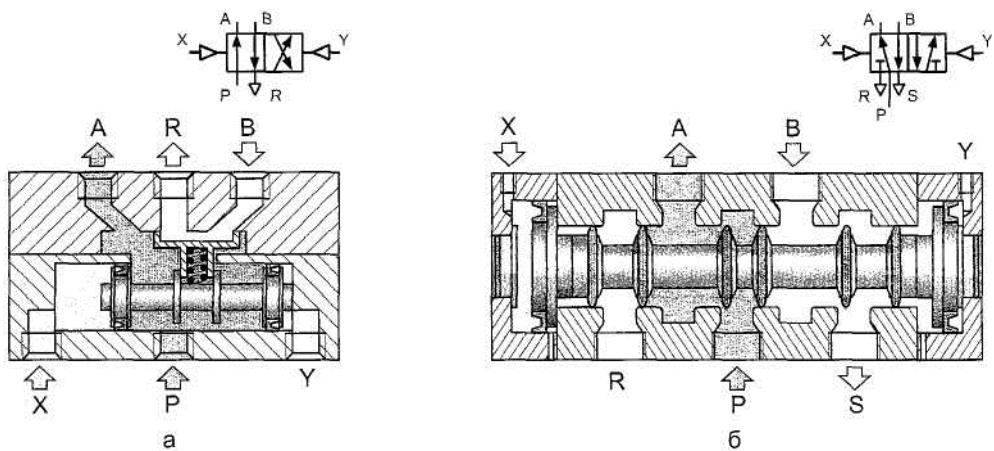


Рисунок 4.23 – Бистабильные пневмораспределители с пневматическим управлением (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):  
а) 4/2-пневмораспределитель с плоским золотником; б) 5/2-пневмораспределитель

Так как площади управляющих поршней в бистабильных пневмораспределителях одинаковы, то в том случае, когда в обоих каналах управления распределителя присутствуют сигналы, он будет устанавливаться в позицию, определяемую сигналом, который пришел первым. Это свойство бистабильных пневмораспределителей часто используют в пневматических системах управления.

Если пневмораспределители, у которых органы управления ЗРЭ удерживаются в рабочих позициях силами трения, устанавливают на машинах с повышенным уровнем вибрации, то их положение должно быть строго горизонтальным. В противном случае может произойти самопроизвольное переключение ЗРЭ в нижнюю позицию.

Бистабильные пневмораспределители с электропневматическим управлением, по существу, представляют собой комбинацию двух пилотных электроуправляемых 3/2-пневмораспределителей 1 и базового распределителя 2 с двусторонним пневматическим управлением. Сжатый воздух подводится к пилотным распределителям, располагающимся, как правило, на торцах

базового распределителя, по специальным каналам 3, выполненным в корпусе последнего и соединенным с каналом питания Р (рис. 4.24).

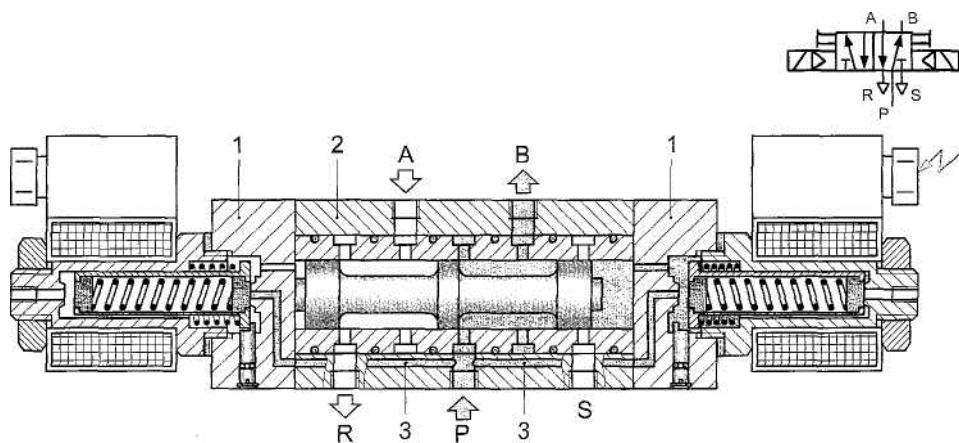


Рисунок 4.24 – Бистабильный 5/2-пневмораспределитель с электропневматическим управлением (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):

- 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.

Иногда распределители такого типа называют *импульсными*, поскольку для их срабатывания достаточно подать кратковременный (импульсный) управляющий сигнал.

#### 4.4 Монтаж пневмораспределителей

Способы монтажа пневматических распределителей обусловливаются 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. 4.25 а) пневмораспределители устанавливают на корпусных деталях машин и подключают к пневматической системе посредством соединений, ввинчиваемых непосредственно в резьбовые отверстия, которые предусмотрены в корпусе распределителя.

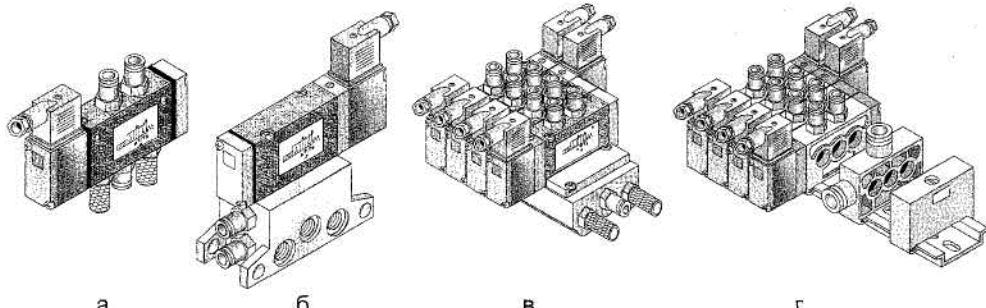


Рисунок 4.25 – Способы монтажа пневмораспределителей:  
а) резьбовой; б) стыковой; в) блочный; г) модульный

При *стыковом* монтаже (рис. 4.25 б) пневмораспределители, все присоединительные отверстия которых расположены с одной стороны, устанавливают на специальные монтажные плиты, через которые осуществляется их коммутация с пневмосистемой и фиксация на технологической установке. Такой способ монтажа позволяет заменять распределители без демонтажа трубопроводов.

Если места установки пневмораспределителей не регламентированы, то размещают их как можно ближе к исполнительному механизму, что позволяет повысить быстродействие, уменьшить непроизводительные потери сжатого воздуха и суммарную длину трубопроводов. В частности, чем ближе распределитель установлен к пневмоцилиндру двустороннего действия, тем на большее расстояние (от блока подготовки воздуха до пневмораспределителя) прокладывают один трубопровод, а не два (от распределителя к цилинду).

Пневмораспределители с ручным управлением, приводом которых служат рычаг, рукоятка и т. п., монтируют таким образом, чтобы орган управления: 1) перемещался в направлениях, совпадающих с соответствующими направлениями движения механизма, и в любой позиции был в пределах досягаемости оператора в обычном рабочем положении последнего; 2) не создавал помех своими перемещениями рабочим движениям оператора; 3) в связи с особенностями своего расположения не вынуждал оператора совершать какие-либо действия в непосредственной близости от вращающихся или движущихся частей механизмов.

При групповом монтаже аппараты крепят и подсоединяют к системе с помощью общих или унифицированных монтажных и коммуникационных деталей. Различают *блочный* и *модульный* групповой монтаж. Так, *блочный* монтаж (рис. 4.25 в) осуществляют путем установки пневмораспределителей стыкового исполнения на общую многоместную плиту, в которой выполнены каналы питания и выхлопа. Если предполагается дальнейшее развитие пневматической системы, то устанавливают плиту с резервными посадочными местами, которые закрывают специальными заглушками.

Для *модульного* монтажа (рис. 4.25 г) характерно формирование общих каналов питания и выхлопа при состыковке боковых плоскостей распределителей или монтажных плит. Отдельные модули соединяют в блоки с помощью стяжек либо концевых плит. Уплотнительные кольца круглого поперечного сечения, установленные в цилиндрических расточках

присоединительных отверстий, обеспечивают герметичность соединений подводящих и отводящих каналов. Преимущество такого способа монтажа состоит в том, что в случае изменения конфигурации системы допускается увеличение или сокращение числа модулей, составляющих блок, без нарушения работы входящих в него компонентов.

Наиболее часто в сложных системах с электропневматическими распределителями применяют блочный монтаж. При этом пневмораспределители в совокупности с электронными блоками объединяют в так называемые *пневматические острова* (рис. 4.26), управляемые промышленными контроллерами или функционирующие автономно. Компактность расположения пневмораспределителей значительно упрощает пусконаладочные и ремонтные работы и облегчает их коммуникацию с электронной системой управления.

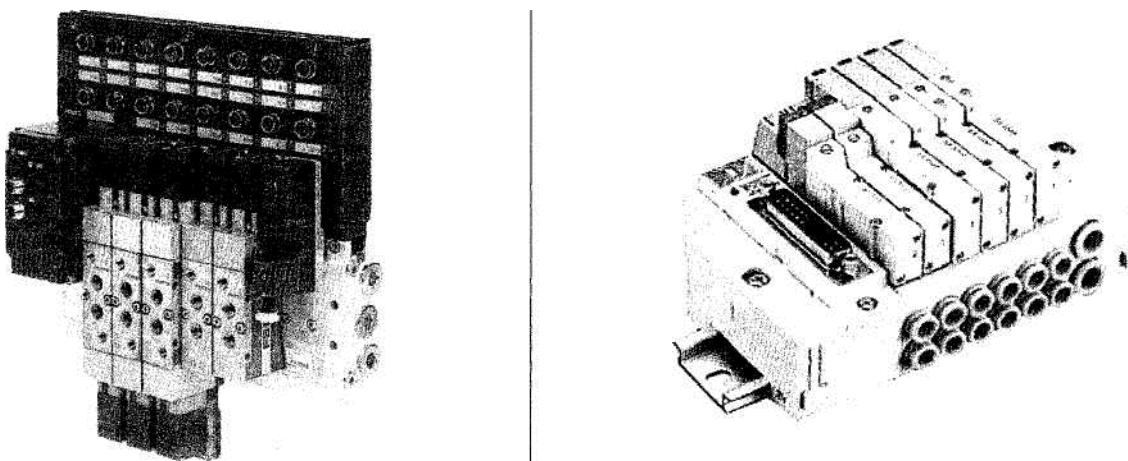


Рисунок 4.26 – Пневматические острова

#### 4.5 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 ( $t_n = 20^\circ\text{C}$ ,  $p_n = 101,3 \text{ кПа}$ ).

Схема установки для продувки пневмораспределителей с целью определения их пропускной способности (расходной характеристики) представлена на рис. 4.27.

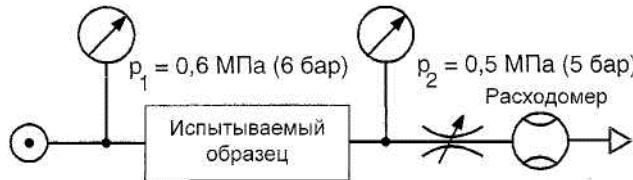


Рисунок 4.27 – Схема установки для определения пропускной способности пневмораспределителей

2. Расходная характеристика задается параметром, характеризующим сопротивление распределителя. В качестве такого параметра применяют пропускную способность  $K_y$ , представляющую собой расход [ $\text{м}^3/\text{ч}$ ] жидкости с плотностью  $1 \text{ кг}/\text{дм}^3$  (например, 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  $1 \text{ psi}$  (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.

Хотя размеры присоединительных отверстий не характеризуют пропускную способность пневмораспределителей, для ориентировочного подбора необходимого типоразмера распределителя можно воспользоваться табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Ориентировочное соотношение номинальных расходов и размеров присоединительных отверстий пневмораспределителей

Диаметр поршня цилиндра, мм	Размер присоединенных отверстий	Условный проход, мм	Нормальный номинальный расход, мм
до 12	M3	1,5	до 80
12 – 25	M5	2,5	до 200
25 – 50	G1/8	3,5	до 500
50 – 100	G1/4	7,0	до 1140
150 – 200	G1/2	12,0	до 3000
200 – 320	G3/4, G1	18,7	до 6000

Завершая рассмотрение пневмораспределителей, необходимо пояснить, почему они отнесены к основным управляющим элементам пневматических САУ. Дело в том, что распределитель как конструктивный элемент присутствует не только в направляющей и регулирующей подсистемах, но и в логико-вычислительной и информационной. При этом он может либо составлять конструктивную часть элемента любой из данных подсистем, либо сам являться таким элементом. Как бы то ни было, понимание принципов действия и устройства распределителей служит основой представления о работе пневматической системы в целом.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Для чего необходима регулирующая пневмоаппаратура?
2. Какой принцип действия 3/2-пневмораспределителя?
3. Какой принцип действия 5/2-пневмораспределителя?
4. В чем состоит отличие моностабильного и бистабильного пневмораспределителей?
5. По какому принципу подбирается пневмораспределитель?

## 5 РЕГУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

### 5.1 Запорные элементы

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

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. 5.1).

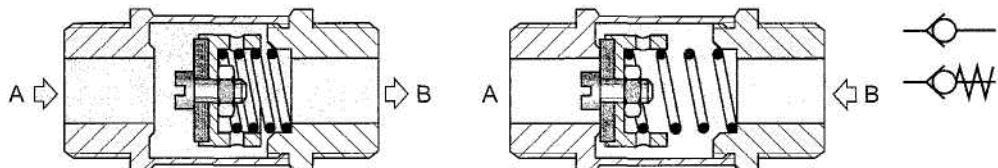


Рисунок 5.1 – Обратный клапан (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

Герметичное закрытие клапана при движении потока в обратном направлении обеспечивается не только встроенной пружиной, но и воздействием давления сжатого воздуха на его запорно-регулирующий элемент.

Символ пружины включают в условное графическое обозначение обратных клапанов в том случае, когда необходимо подчеркнуть следующее: клапан открывается при условии, что давление на входе превышает давление на выходе и давление пружины.

Обратные клапаны, которые при подаче управляющего сигнала на встроенный в их корпус приводной механизм могут быть принудительно открыты, называются пневмозамками (рис. 5.2).

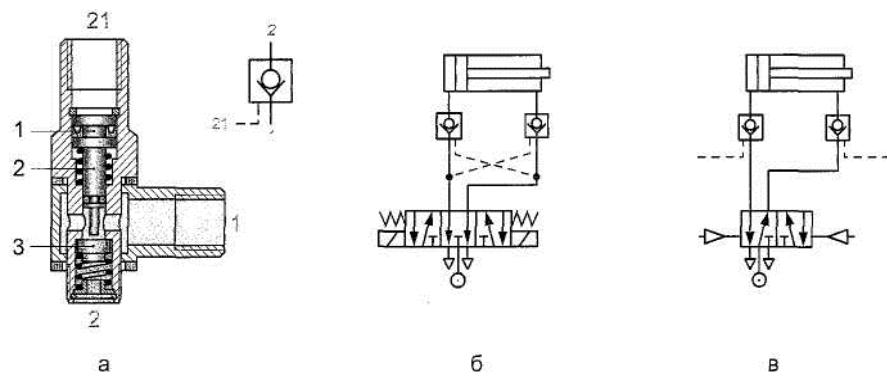


Рисунок 5.2 – Конструкция пневмозамка и его условное графическое обозначение на схемах (а), примеры его применения (б, в)

Через пневмозамок воздух свободно проходит из канала 1 в канал 2 (рис. 5.2 а), тогда как в обратном направлении – только при наличии сигнала в канале управления 21. При этом во втором случае шток 2 мини-цилиндра, площадь поршня 1 которого больше площади клапана 3, принудительно

снимает клапан 3 с седла, тем самым обеспечивая возможность протекания воздуха из канала 2 в канал 1.

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. В схеме с 5/3-пневмораспределителем (рис. 5.2 б) оба пневмозамка в исходном состоянии закрыты, поскольку их каналы управления соединены с атмосферой через распределитель. При переключении распределителя один из пневмозамков (расположенный в линии сброса отработавшего воздуха) открывается автоматически, т. к. в его канал управления поступает сигнал из линии, по которой сжатый воздух подается к цилиндру.

Во фрагменте схемы с 5/2-пневмораспределителем, показанном на рис. 5.2 в, пневмозамки открываются при подаче внешнего управляющего сигнала.

Для запирания магистральных трубопроводов или отсечения отдельных ветвей пневмосистемы применяют различные вентили. В шаровых вентилях (рис. 5.3) поток сжатого воздуха полностью перекрывается при повороте запорно-регулирующего элемента (шара с выполненным в нем сквозным отверстием) на  $90^\circ$ .

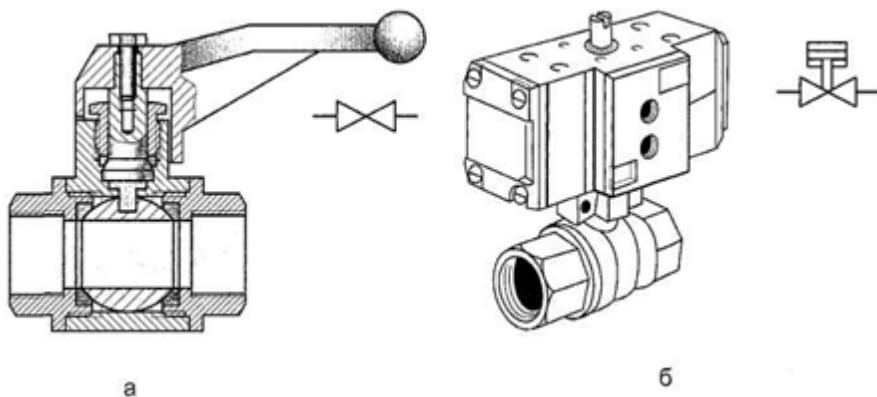


Рисунок 5.3 – Шаровые вентили (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):  
а) с ручным управлением; б) с пневматическим управлением

Вентили с пневматическим управлением широко применяют в автоматизированных производствах, содержащих разветвленную сеть трубопроводов, например в пищевой, химической и других отраслях промышленности.

## 5.2 Устройства регулирования расхода

Расход сжатого воздуха в пневмоприводах регулируют с целью управления скоростями движения выходных звеньев исполнительных механизмов.

Простейшим пневматическим элементом, позволяющим регулировать расход воздуха, является дроссель. Дроссель – это устройство, обеспечивающее существенное уменьшение площади проходного сечения канала, по которому движется сжатый воздух. Установка дросселя в пневмолинии приводит к

возникновению дополнительного местного сопротивления движению потока воздуха, что и обуславливает снижение расхода.

По существу, дроссель представляет собой щель некоторой длины, имеющую определенные размеры проходного сечения. При этом площадь последнего в зависимости от конструктивного исполнения дросселя либо остается постоянной, либо может изменяться путем вращения регулировочного винта. Соответственно дроссель будет называться либо *постоянным* (рис. 5.4 а), либо *регулируемым* (рис. 5.4 б).

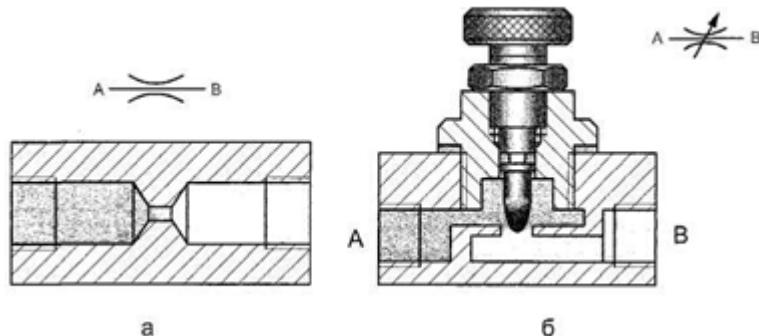


Рисунок 5.4 – Пневмодроссели (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):  
а) постоянный; б) регулируемый

Если длина щели превышает ее диаметр, дроссель принято называть ламинарным, в противном случае – турбулентным.

При установке дросселя в трубопроводе расход воздуха будет снижаться при протекании потока в любом из двух возможных направлений. Если возникает необходимость регулировать расход только в одном из них и обеспечить свободное протекание потока сжатого воздуха в обратном, то в пневмолинии устанавливают дроссель с обратным клапаном (рис. 5.5).

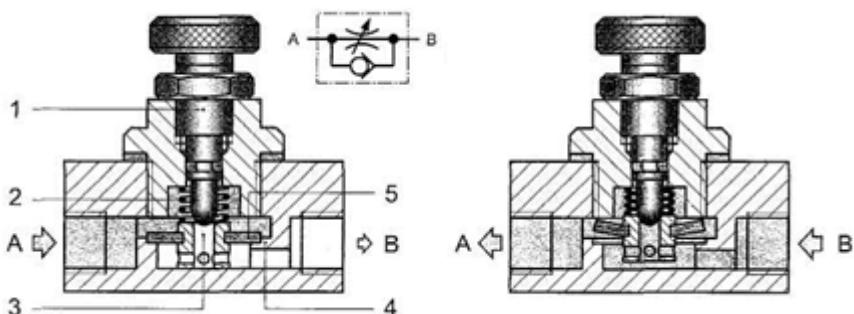


Рисунок 5.5 – Пневмодроссель с обратным клапаном (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):  
1 – регулировочный винт; 2 – пружина; 3 – дросселирующее отверстие;  
4 – седло; 5 – тарельчатый обратный клапан

В нормальном состоянии тарельчатый обратный клапан 5, в центральной части которого выполнено дросселирующее отверстие 3, прижат к седлу 4 пружиной 2. В случае, когда сжатый воздух поступает из канала А в канал В, он протекает только через это отверстие, проходное сечение которого (а следовательно, и расход) можно изменять посредством регулировочного винта

1. Движение воздуха в обратном направлении сопровождается подъемом обратного клапана с седла, что позволяет потоку беспрепятственно протекать из канала В в канал А.

Таким образом, поток воздуха дросселируется при движении через дроссель с обратным клапаном в одном направлении и свободно протекает через обратный клапан при движении в противоположном направлении.

Обычно на корпусах пневматических дросселей с обратным клапаном присутствует условное графическое обозначение, на котором расположение обратного клапана относительно присоединительных отверстий строго соответствует его позиции в реальной конструкции. Иногда обозначение заменяют стрелкой, указывающей направление дросселирования потока.

Рассмотрим примеры использования дросселей и дросселей с обратным клапаном для регулирования скорости движения штока пневмоцилиндра одностороннего действия (рис. 5.6).

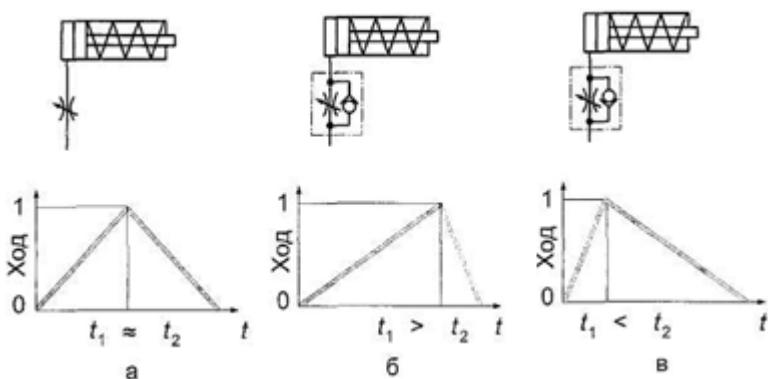


Рисунок 5.6 – Регулирование скорости движения  
штока пневмоцилиндра одностороннего действия:

- а) установка дросселя без обратного клапана; б) установка дросселя с закрытым обратным клапаном; в) установка дросселя с открытым обратным клапаном

При установке регулируемого дросселя без обратного клапана (рис. 5.6 а) скорости прямого и обратного ходов взаимосвязаны, поскольку и входящий в цилиндр, и исходящий из него потоки воздуха проходят через одно и то же сечение дросселирующей щели.

С целью регулирования скорости выдвижения штока (рис. 5.6 б) необходимо применять дроссель с обратным клапаном, причем последний должен быть закрыт при поступлении воздуха в цилиндр. Для регулирования скорости втягивания штока (рис. 5.6 в) дроссель необходимо устанавливать таким образом, чтобы натекающий воздух свободно поступал в цилиндр через обратный клапан и вытекал из него через дроссель.

Управлять скоростью выходного звена пневмоцилиндров двустороннего действия можно дросселированием воздуха в линии нагнетания (регулирование на входе) или выхлопа (регулирование на выходе). Для примера рассмотрим регулирование скорости прямого хода.

При дросселировании натекающего воздуха (регулирование на входе – рис. 5.7 а) рабочая полость заполняется медленно, столь же медленно возрастает и давление в ней. В связи с этим давление в рабочей полости сильно зависит от колебаний значений нагружающего усилия, а восприятие цилиндром

попутной нагрузки (направление действия которой совпадает с направлением движения штока) становится практически невозможным.

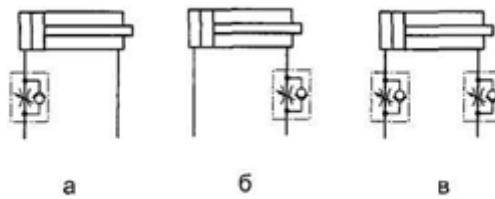


Рисунок 5.7 – Регулирование скорости движения штока пневмоцилиндра двустороннего действия:

а) регулирование на входе; б) регулирование на выходе; в) регулирование на входе и выходе

По этой причине скорость движения штока пневмоцилиндра двустороннего действия регулируется преимущественно дросселированием воздуха, вытекающего из исполнительного механизма (регулирование на выходе – рис. 5.7 б). Сжатый воздух при такой схеме включения дросселя с обратным клапаном свободно поступает в поршневую полость цилиндра, тогда как в штоковой полости создается «подпор», тормозящий поршень. При этом в обеих рабочих полостях поддерживается высокий уровень давления, что обеспечивает плавный ход поршня, практически не зависящий от колебаний значения нагрузжающего усилия.

Для независимого регулирования скоростей прямого и обратного ходов дроссели с обратными клапанами устанавливают в обеих пневмолиниях, подсоединенных к цилиндру (рис. 5.7 в). При такой схеме установки сжатый воздух свободно проходит в рабочие полости цилиндра через обратные клапаны и вытекает через дроссели, создающие сопротивление отработавшему воздуху.

На представленной схеме оба дросселя с обратным клапаном регулируют скорость прямого хода цилиндра, в то время как скорость обратного хода регулированию не поддается.

Часто дроссели как устройства регулирования скорости движения выходного звена устанавливают непосредственно на этом механизме либо на исполнительном распределителе. В таких случаях применяют ввертные конструкции (рис. 5.8).

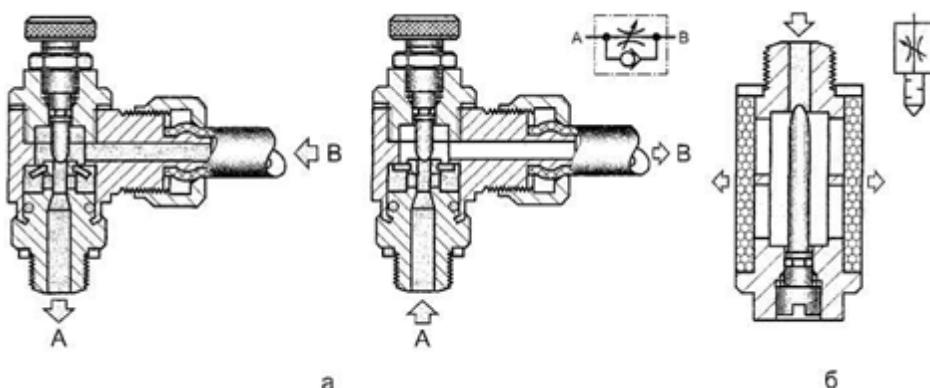


Рисунок 5.8 – Ввертные дроссели (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):  
а) дроссель с обратным клапаном; б) выхлопной дроссель

Применение выхлопных дросселей становится неэффективным, если линия подвода воздуха от пневмораспределителя к исполнительному механизму имеет значительную длину. Этот факт объясняется тем, что объем, в котором сжимается воздух (выхлопная полость цилиндра и трубопровод), оказывается настолько большим, что перемещение поршня уже не вызывает в нем повышения давления в той мере, в какой это требуется для обеспечения эффективного регулирования скорости движения выходного звена.

На принципиальных пневмосхемах, при использовании позиционных обозначений в виде цифровых индексов, устройствам, регулирующим скорость, присваиваются трехзначные индексы. Разделенные точкой первые две цифры этих индексов указывают на исполнительный механизм, скорость движения которого регулируется (рис. 5.9). В индексе четная цифра после точки означает, что устройство задействуется в процессе выдвижения штока цилиндра, а нечетная – в процессе втягивания.

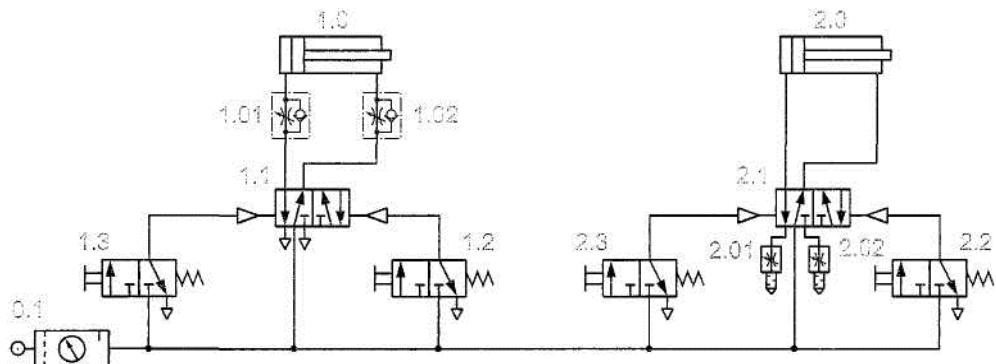


Рисунок 5.9 – Регулирование скорости движения штока пневмоцилиндров

На первый взгляд можно сделать однозначный вывод о том, что исполнительный механизм будет двигаться с максимально возможной скоростью, если в его выхлопной магистрали отсутствуют дросселирующие устройства. Однако нельзя забывать, что пневмолинии представляют собой «гидравлические» сопротивления на пути сжатого воздуха. Чтобы отработавший воздух был сброшен в атмосферу, его необходимо «продавить» как минимум через трубопроводы и исполнительный распределитель. Поэтому очевидно следующее: максимально возможную скорость исполнительный механизм разовьет лишь в том случае, если сброс воздуха в атмосферу будет осуществляться непосредственно за его рабочей полостью. Реализовать этот вариант можно путем применения клапана быстрого выхлопа (рис. 5.10), который, с одной стороны, свободно пропускает сжатый воздух к исполнительному механизму, а с другой – сбрасывает отработавший воздух непосредственно в атмосферу.

При подаче сжатого воздуха в канал А запорный элемент смещается в сторону отверстия выхлопа R и перекрывает его, освобождая путь в канал В. Подача воздуха в канал В сопровождается перекрытием канала А (т. е. отсечением присоединенных пневмолиний) и сбросом отработавшего воздуха в атмосферу через канал R. (Обратим внимание, что условное графическое

обозначение клапана быстрого выхлопа четко отражает принцип его функционирования).

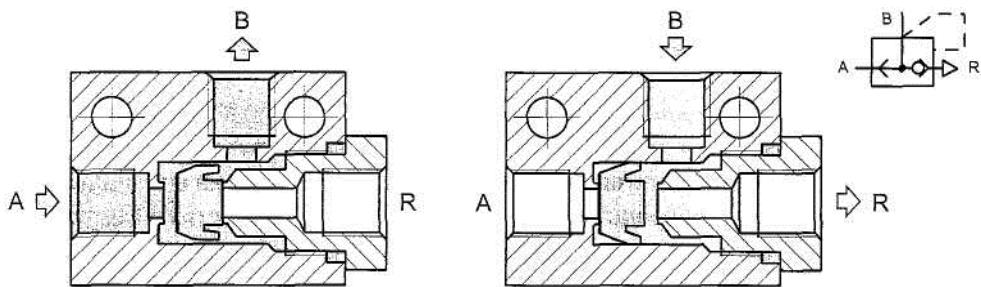


Рисунок 5.10 – Клапан быстрого выхлопа (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

Клапаны быстрого выхлопа на принципиальных пневматических схемах также обозначают трехзначными цифровыми индексами (рис. 5.11).

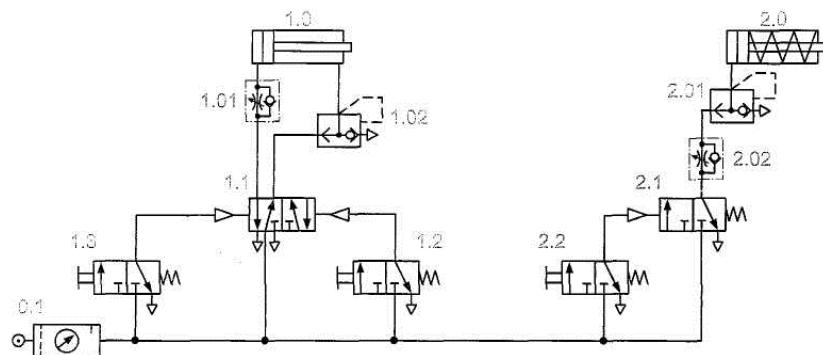


Рисунок 5.11 – Принципиальная пневматическая схема с клапанами быстрого выхлопа

Регулирование скорости движения исполнительных механизмов не ограничивается только использованием дросселей и клапанов быстрого выхлопа. Существует множество схемных решений с применением клапанов давления, дополнительных емкостей, внешних тормозных устройств и др.

### 5.3 Устройства регулирования давления

Поддержание заданного давления в рабочих полостях исполнительных механизмов обеспечивает постоянство развиваемого ими усилия либо скорости движения выходного звена, что является обязательным требованием при создании многих технологических установок.

Задачи регулирования давления в пневматических системах решаются посредством клапанов давления: *предохранительных и редукционных*.

Назначение *предохранительных* клапанов (рис. 5.12 а) 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. 5.12 б, 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 состав 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. 5.12).

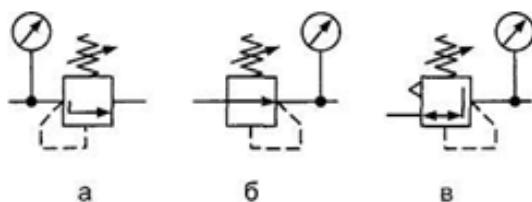


Рисунок 5.12 – Пневмоклапаны давления:

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

При выборе клапанов давления следует принимать во внимание следующие технические характеристики: диапазон рабочих давлений; диапазон температур; номинальный расход; размеры присоединительных отверстий.

Традиционные варианты использования клапанов давления в пневматических системах представлены на рис. 5.13.

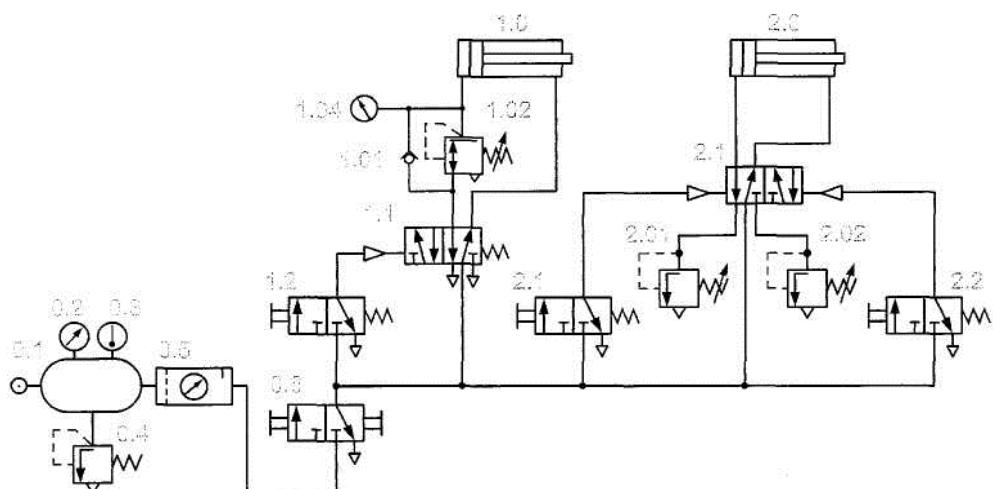


Рисунок 5.13 – Пример использования пневмоклапанов давления

Предохранительный клапан 0.4 ограничивает уровень давления в ресивере 0.1, а клапаны 2.01 и 2.02 создают «подпор» в рабочих полостях пневмоцилиндра 2.0. Посредством этих клапанов фактически регулируется скорость движения штока цилиндра 2.0. Подобная схема регулирования

обеспечивает стабильность скоростных характеристик при изменении величины нагрузки.

Редукционный клапан 1.02 поддерживает на постоянном уровне усилие, развиваемое пневмоцилиндром 1.0 при прямом ходе. Чтобы обеспечить свободный возврат пневмоцилиндра 1.0 в исходную позицию, параллельно редукционному клапану 1.02 устанавливают обратный клапан 1.01.

Обратим внимание, что предохранительные клапаны 2.01 и 2.02 отличаются по конструктивному исполнению от клапана 0.4, поскольку к их выхлопному отверстию можно присоединить резьбовые соединения либо пневмоглушители (рис. 5.14).

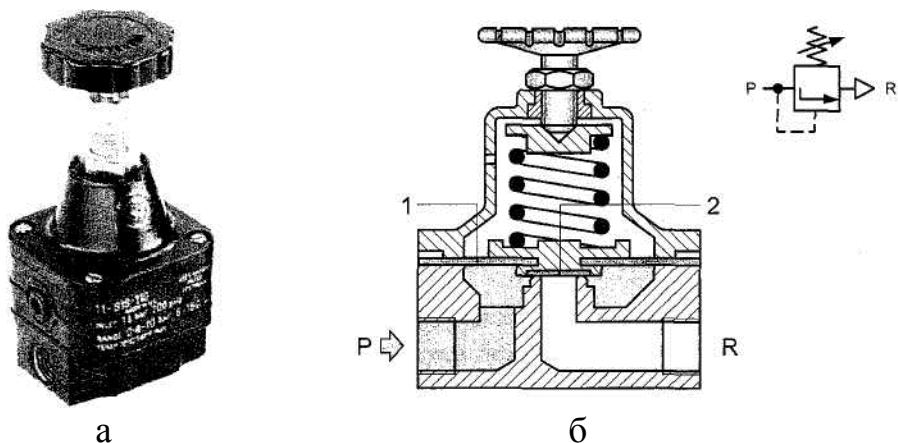


Рисунок 5.14 – Предохранительный пневмоклапан (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):  
а) внешний вид; б) конструкция; 1 – мембрана; 2 – тарельчатый клапан

Предохранительный клапан ограничивает уровень давления сжатого воздуха, подводимого к каналу Р и воздействующего на подпружиненную мембрану 1 (рис. 5.14 б), в жестком центре которой установлен тарельчатый клапан 2, перекрывающий проход к каналу R. Когда давление становится достаточным для преодоления усилия пружины, клапан открывается, пропуская сжатый воздух в канал R.

Кроме клапанов давления с ручной настройкой уровня контролируемого давления, существуют также клапаны давления с внешним дистанционным управлением (рис. 5.15).

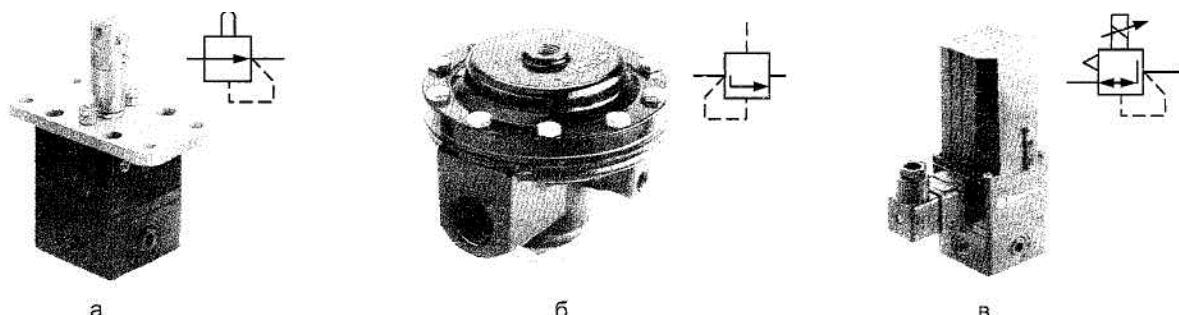


Рисунок 5.15 – Пневмоклапаны давления с внешним управлением (внешний вид и условное графическое обозначение на схемах) при разных типах управления:  
а) механическое; б) пневматическое; в) пропорциональное

Управление может быть: 1) механическим – уровень давления зависит от положения некоторого технологического объекта, с которым орган управления клапаном связан кинематически (рис. 5.15 а); 2) пневматическим – уровень контролируемого давления задается значением давления в некоторой точке пневматической системы (рис. 5.15 б); 3) пропорциональным – клапан регулирует давление пропорционально заданной силе тока или напряжению (рис. 5.15 в).

Клапаны с пропорциональным управлением являются наиболее универсальными с точки зрения возможностей автоматизации управления сложными технологическими объектами, поскольку в соответствующий аналоговый электрический сигнал можно преобразовать и перемещение, и давление (а также другие физические величины). Кроме того, применение клапанов давления с пропорциональным управлением позволяет осуществлять программное управление уровнем давления в пневматической системе с помощью промышленных логических контроллеров.

В ряде случаев для уменьшения габаритов установок, оснащенных пневмоприводами, целесообразно перейти на работу с давлением, уровень которого выше, чем в основной сети. С этой целью применяют *усилители давления* (рис. 5.16).

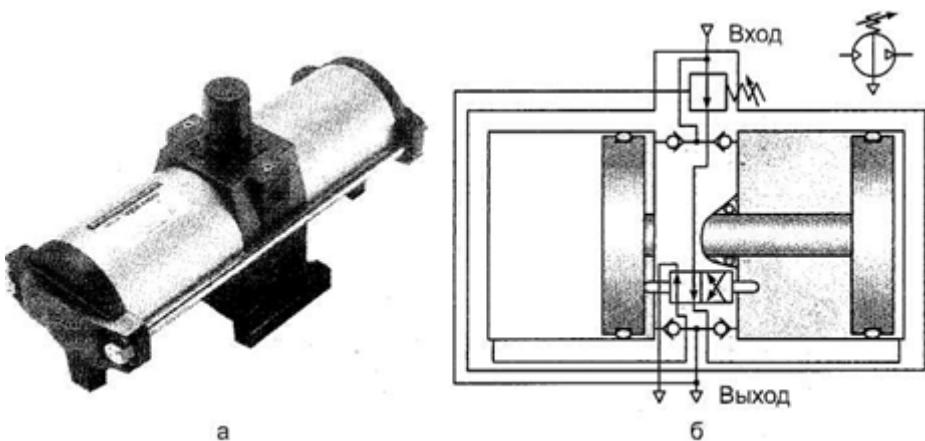


Рисунок 5.16 – Усилитель давления:  
а) внешний вид; б) конструкция и условное обозначение

Усилитель давления фактически представляет собой двухпоршневой компрессор с пневматическим приводом. Поршни перемещаются под действием сжатого воздуха, поступающего поочередно в одну из приводных (бесштоковых) камер. Реверсирование движения поршней осуществляется при достижении ими «мертвых точек» посредством встроенного 4/2-пневмораспределителя с двусторонним механическим управлением. Уровень давления на выходе задается с помощью регулятора давления и контролируется через канал обратной связи.

Давление, развиваемое усилителем, как правило, не превышает давления в пневмосети более чем в два раза, при этом расход сжатого воздуха, затрачиваемого на работу усилителя, составляет около 120 % от расхода на его выходе.

При необходимости для сглаживания пульсаций давления на выходе усилителя устанавливают ресивер (рис. 5.17 а).

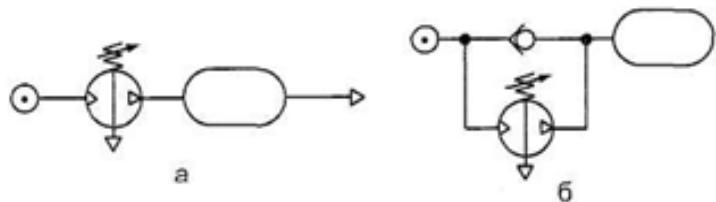


Рисунок 5.17 – Установка усилителя давления с ресивером:  
а) последовательная; б) параллельная

Если усилитель работает на ресивер (замкнутый объем), то для ускорения наполнения последнего параллельно усилителю встраивают обратный клапан (рис. 5.17 б). При этом усилитель начинает работать в тот момент, когда давление в ресивере становится равным давлению в пневмосети.

Подача сжатого воздуха в пневматические подсистемы в момент их подключения к сети сопровождается внезапным повышением давления. Это может привести к резкому перемещению исполнительных механизмов и ведомых частей механизма при их выходе в исходную позицию. В результате опорные конструкции воспринимают значительные ударные нагрузки, что может привести к выходу оборудования из строя. Для обеспечения плавного повышения давления в пневмосистемах до заданного уровня применяют специальные блоки (рис. 5.18).

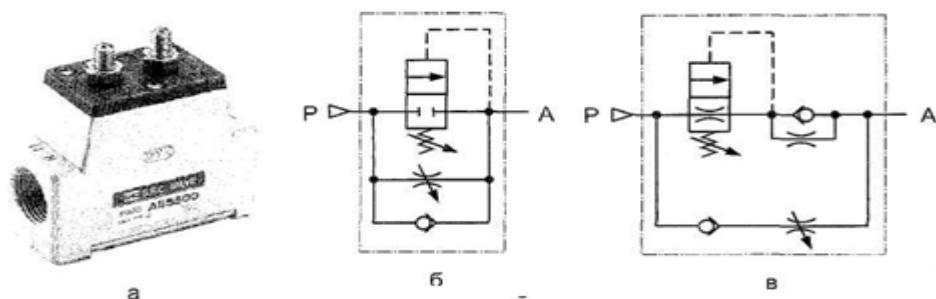


Рисунок 5.18 – Блок плавного повышения давления

и схемные решения по его монтажу в пневмосеть:

- а) внешний вид;
- б) с возможностью плавного регулируемого повышения давления и резкого сброса воздуха;
- в) с возможностью плавного нерегулируемого повышения давления и плавного сброса давления

Блоки плавного повышения давления (рис. 5.18 а) могут быть выполнены на основе различных схемных решений в зависимости от условий функционирования конкретных установок. Так, блок, выполненный по схеме, показанной на рисунке 5.18 б, позволяет осуществлять плавное нарастание давления в системе через регулируемый дроссель. При достижении заданного уровня давления срабатывает клапан последовательности, что обеспечивает дальнейшее свободное поступление воздуха в систему. Сброс воздуха из системы осуществляется резко (через обратный клапан).

Схемное решение, изображенное на рисунке 5.18 в, позволяет осуществлять плавное нерегулируемое повышение давления в системе до требуемого уровня через нерегулируемый дроссель клапана последовательности и плавный сброс (через регулируемый дроссель) воздуха из системы.

Часто для удобства эксплуатации такие блоки монтируют в составе блоков подготовки воздуха.

#### 5.4 Пневмоклапаны последовательности

Помимо контроля положения исполнительных механизмов либо кинематически связанных с ними подвижных частей машин нередко требуется также формирование управляющих сигналов на основе информации о значении давления в определенных точках пневматической системы. В таких случаях говорят об управлении по давлению.

Устройства, преобразующие аналогово-пневматический сигнал на входе при достижении им заданной величины в дискретный пневматический сигнал на выходе, называют *клапанами последовательности*, или реле давления с пневматическим выходом (рис. 5.19).

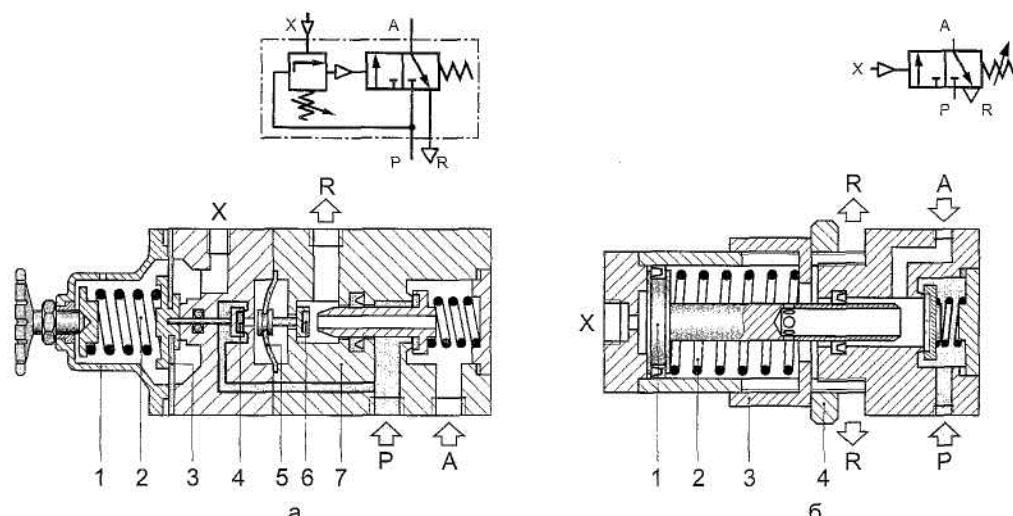


Рисунок 5.19 – Пневмоклапаны последовательности (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):

- а) комбинация предохранительного клапана с внешним управлением и 3/2-пневмораспределителя с пневматическим управлением, включенных последовательно:  
1 – предохранительный клапан; 2 – настроечная пружина; 3, 5 – мембрана; 4 – пилотный клапан; 6 – переключающий элемент; 7 – распределитель; б) 3/2-пневмораспределитель с пневматическим управлением: 1 – приводной поршень; 2 – пружина; 3 – регулировочная втулка; 4 – регулировочная гайка

Условные графические обозначения пневмоклапанов последовательности могут различаться в зависимости от их конструктивного исполнения. Так, клапан последовательности, показанный на рис. 5.19 а, представляет собой комбинацию предохранительного клапана с внешним управлением 1 и 3/2-пневмораспределителя с пневматическим управлением 7, включенных последовательно, что находит отражение в его условном обозначении.

Напомним: штрихпунктирная линия, охватывающая обозначения нескольких пневматических элементов, указывает на то, что эти элементы не являются самостоятельными аппаратами, а входят в состав объединяющего их устройства.

Давление в канале управления X должно быть таким, чтобы усилие, возникающее на мемbrane 3, было достаточным для преодоления усилия настроечной пружины 2. Как только это условие выполняется, открывается пилотный клапан 4, и сжатый воздух начинает поступать к мемbrane 5 переключающего элемента 6 распределителя 7. При срабатывании данного элемента происходит переключение пневмораспределителя 7, в результате чего в канале А появляется сигнал. Усилие настроечной пружины можно изменить путем вращения регулировочного винта.

Клапан, изображенный на рис. 5.19 б, выполнен на базе 3/2-распределителя с пневматическим управлением. Порог срабатывания клапана настраивают смещением регулировочной втулки 3, на которую опирается пружина 2 приводного поршня 1. Перемещение втулки 3 сопровождается изменением усилия предварительного сжатия пружины 2 и обеспечивается вращением регулировочной гайки 4.

Следует обратить внимание на то, что активная площадь приводного поршня 1 (на которую воздействует контролируемое давление) резко увеличивается при его трогании с места из исходной позиции. Это означает, что даже постепенное повышение давления в канале X до некоторого порогового значения (величины настройки) приводит не к плавному перемещению управляющего поршня, а к его резкому переходу в выдвинувшее положение, что обеспечивает четкое переключение пневмораспределителя.

При выборе клапанов последовательности необходимо принимать во внимание следующие технические характеристики:

- диапазон воспринимаемых давлений (максимальная и минимальная величины давления);
- точность настройки;
- стабильность работы (способность сохранять настройку давления срабатывания при многократных переключениях);
- величину гистерезиса (разницу между давлением включения и давлением отключения);
- номинальный расход воздуха, протекающего через клапан.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как работает и для чего необходим обратный клапан?
2. Какие преимущества имеет шаровый вентиль?
3. При помощи каких устройств регулируют расход воздуха в пневмосистемах?
4. За счет каких устройств регулируется давление в пневмостеме?
5. Для чего применяются пневмоклапаны последовательности?

## 6 УСТРОЙСТВА ОЧИСТКИ, ОСУШКИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА

### 6.1 Фильтры

Для обеспечения надежности и безотказной работы пневматических систем в целом и каждого из их элементов в отдельности необходим очищенный сжатый воздух. Загрязнители: пыль, окалина, ржавчина, а также конденсат и компрессорные масла, резко снижают показатели безотказности элементов пневматических систем, приводят к нарушению технологических процессов. Вследствие загрязнения сжатого воздуха износ увеличивается в 2 – 7 раз, а число выходов из строя элементов пневмосистем по этой же причине составляет до 80 % общего числа отказов.

**Твердые загрязнители.** Для очистки воздуха от механических включений применяют *фильтры*. Концентрация, дисперсный состав и природа твердых загрязнителей сжатого воздуха зависят:

- а) от режимов эксплуатации и обслуживания трубопроводов и пневмоустройств;
- б) от загрязненности воздушного бассейна в зоне всасывания компрессора.

Обязательность установки фильтра на линии всасывания компрессора обусловлена требованием безопасности работы самого компрессора. Как правило, приемный фильтр имеет корпус 1, в котором располагается, собственно, фильтрующий элемент 2, выполненный в виде сменного стакана (рис. 6.1 а).

Условное графическое обозначение фильтра на принципиальных пневматических схемах и его изображение на линии всасывания компрессора представлены на рис. 6.1 б и рис. 6.1 в.

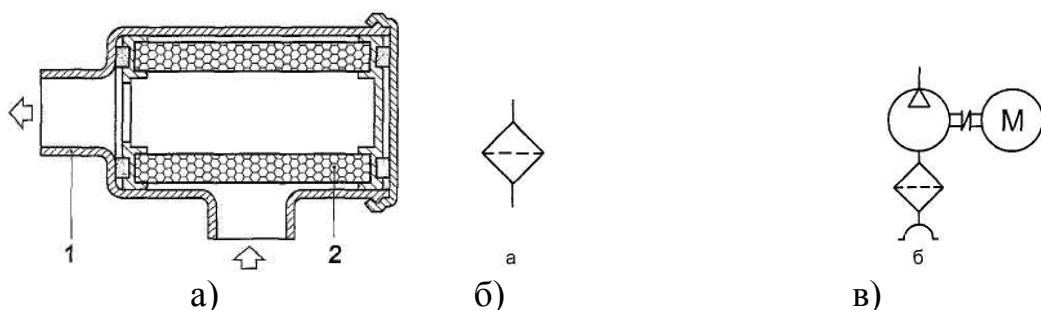


Рисунок 6.1 – Фильтр воздушный: конструкция (а) и условное обозначение самостоятельно (б) и на всасывающей линии компрессора (в):  
1 – корпус; 2 – фильтрующий элемент

В качестве материалов для фильтрующих элементов применяют бумагу, фетр, поролон, целлюлозную вату, пористую керамику, металлокерамику, металлические сетки и др. Размеры частиц, задерживаемых фильтром, зависят от геометрических размеров ячеек фильтрующего материала и колеблются в зависимости от предъявляемых к сжатому воздуху требований: максимальный размер составляет 80 мкм и более, минимальный – 0,5 мкм.

Основное количество твердых загрязняющих веществ попадает в сжатый воздух при передаче его по трубопроводам и соединениям. Эти загрязнители на (95 – 98) % состоят из ржавчины и окалины, а также из продуктов износа поршневых колец компрессоров и подвижных деталей пневмоаппаратов. При нарушении технологии изготовления и монтажа трубопроводов в них попадают частицы уплотняющих материалов и промышленная пыль. На трубопроводах, находящихся под давлением, устанавливают напорные фильтры (рис. 6.2 а). Помимо традиционной фильтрации для очистки воздуха в таких фильтрах используют силы инерции. Поскольку скорость движения воздуха в трубопроводах достигает  $40 \text{ м/с}$ , то резкое изменение траектории потока в корпусе фильтра приводит к выбросу из него частиц загрязнителей, обладающих большей инертностью.

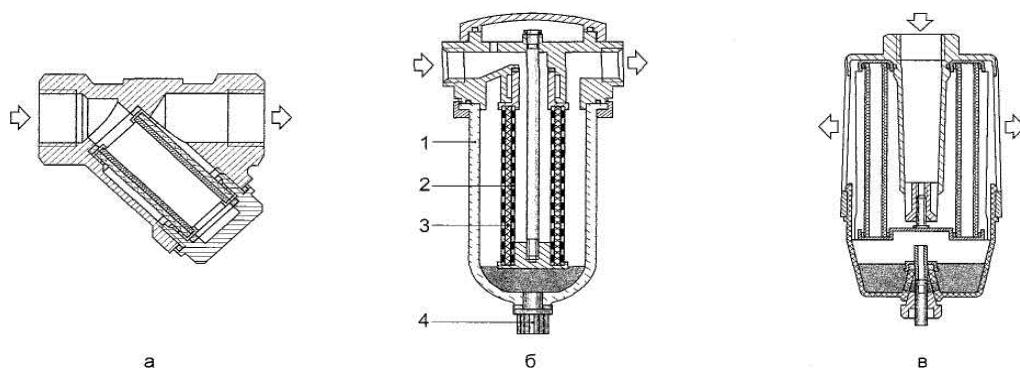


Рисунок 6.2 – Фильтры:  
 а) напорный; б) коалесцентный; в) фильтр-глушитель;  
 1 – стакан фильтра; 2 – грубоволокнистый слой фильтроэлемента;  
 3 – мелкопористый слой фильтроэлемента; 4 – кран

**Масло.** Наиболее сложно при очистке сжатого воздуха удалить из потока компрессорное масло, содержащееся в виде аэрозоля с частицами размером от 0,01 до 1  $\mu\text{м}$ . Из-за малого размера эти частицы нельзя отделить от воздуха путем использования сил инерции. Их эффективное удаление обеспечивают фильтры контактного действия, или коалесцентные (рис. 6.2 б).

Проходя через первый, мелкопористый, слой фильтроэлемента 3 (например, через боросиликатное волокно), частицы масла соединяются в более крупные капли (явление коалесценции). Расширение сжатого воздуха во втором, грубоволокнистом, слое фильтроэлемента 2 и на выходе приводят к значительному снижению скорости потока, и капельки масла под действием собственного веса опускаются на дно стакана 1 фильтра, в котором размещен кран 4 для периодического отвода водомасляного конденсата. Такие фильтры обеспечивают улавливание не менее 99,99 % частиц аэрозолей.

В некоторых отраслях промышленности, например, электронной, недопустимо наличие аэрозолей в отработанном воздухе, т. к. это приводит к ухудшению качества продукции или вообще делает невозможным осуществление технологического процесса. В таких случаях применяют специальные устройства – фильтры-глушители (рис. 6.2 в). Конструктивно они сложнее обычных, имеют большие габариты, поэтому их устанавливают на общем для всей пневмосистемы выхлопном трубопроводе. Условное

графическое обозначение фильтра-глушителя на пневматических схемах приведено на рис. 6.3.

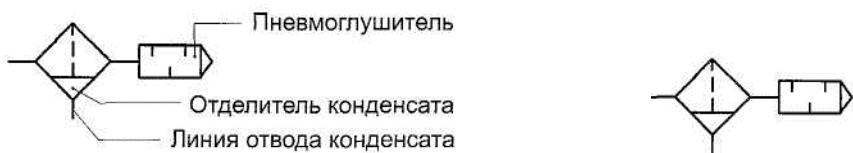


Рисунок 6.3 – Условное графическое обозначение фильтра-глушителя

**Вода.** Температура воздуха в процессе его сжатия в компрессоре повышается на  $(100 - 130)^\circ\text{C}$ , и одновременно значительно снижается относительная влажность. При относительной влажности всасываемого воздуха 80 % сжатый воздух на выходе из компрессора имеет ее значение (6 – 10) %. Вследствие теплообмена с окружающей средой воздух при движении по трубопроводам охлаждается, происходят его перенасыщение водяными парами и выделение капельной влаги (конденсата). Для очистки сжатого воздуха от капельной влаги и твердых частиц применяют фильтры-влагоотделители. Конструктивное исполнение и условное графическое обозначение фильтра-влагоотделителя показаны на рис. 6.4. Сжатый воздух, подведенный к входному каналу в корпусе 1, попадает на крыльчатку 2, где ему придается нисходящее вращательное движение. Капли воды и масла, а также крупные твердые частицы под действием центробежных сил отбрасываются к стенкам стакана 3 и опускаются вниз в отделенную заслонкой 5 спокойную зону. Далее воздух поступает на выход аппарата. При этом в фильтроэлементе 4 удерживаются более мелкие включения, содержащиеся в воздухе.

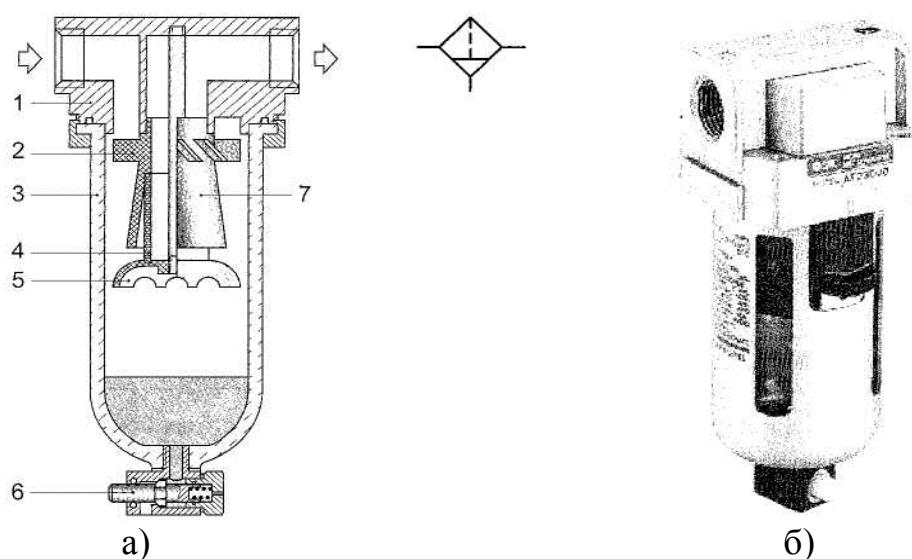


Рисунок 6.4 – Фильтр-влагоотделитель:  
а) конструкция; б) внешний вид; 1 – корпус; 2 – крыльчатка; 3 – стакан;  
4 – фильтроэлемент; 5 – заслонка; 6 – клапан; 7 – дефлектор

Для предотвращения попадания загрязнителей, удаляемых в результате действия центробежных сил, фильтроэлемент защищен дефлектором 7. Прозрачность материала стакана позволяет следить за количеством конденсата, который должен периодически отводиться через управляемый вручную клапан 6. Уровень конденсата не должен подниматься выше заслонки, т. к. в этом случае конденсат начнет подхватываться воздушным потоком, поступающим на фильтроэлемент, что приведет к быстрому его засорению.

Поскольку при засорении фильтров возрастает сопротивление движению воздуха, то фильтроэлементы заменяют либо восстанавливают их пропускную способность. Очищать фильтроэлементы можно следующими способами: пропусканием сжатого воздуха в направлении, противоположном направлению движения воздуха при работе фильтра; промывкой в растворителях; ультразвуковой очисткой. Для регенерации фильтров из пористой керамики и металлокерамики можно использовать растворы различных кислот с последующей промывкой и нейтрализацией. Восстановлению не подлежат бумажные, тканевые, волокнистые и т. п. фильтроэлементы.

В процессе эксплуатации на внутренних поверхностях фильтров-влагоотделителей осаждается водомасляная эмульсия, что может привести к нарушению их нормальной работы. Промывать устройства следует с помощью растворов, не разрушающих уплотнения и поверхности деталей (бензин, спирт, уайт-спирит, теплый мыльный раствор).

Фильтры-влагоотделители следует монтировать в пневмосистемах только в вертикальном положении. Направление движения потока сжатого воздуха через устройство указывается стрелкой на корпусе.

Для упрощения процесса эксплуатации фильтров-влагоотделителей применяют автоматические устройства отвода конденсата поплавкового типа – *автоматические конденсатоотводчики*. Их выполняют в виде отдельных приспособлений, которые в зависимости от конструктивного исполнения либо подсоединяют ко дну стакана фильтра-влагоотделителя снаружи, либо размещают непосредственно в стакане (рис. 6.5). В исходном положении (давление в стакане отсутствует) подпружиненный поршень 4 со сливным клапаном на штоке 6 находится в своем нижнем положении, канал слива 5 открыт. При подаче сжатого воздуха в стакан поршень 4 под действием давления, оказываемого на его нижнюю площадку, перемещается вверх, сжимая пружину 3, и канал 5 перекрывается. Когда количество конденсата достигнет такого уровня, при котором выталкивающая сила преодолевает вес поплавка 2, последний вслывает, открывая воздушный клапан управления 1 поршнем 4, в результате чего давление начинает действовать и на верхнюю площадку поршня. Из-за разности размеров нижней и верхней площадок поршень 4 опускается, открывая канал для слива конденсата 5. При понижении уровня конденсата поплавок 2 опускается, и управляющий клапан 1 перекрывает доступ сжатого воздуха в полость над поршнем.

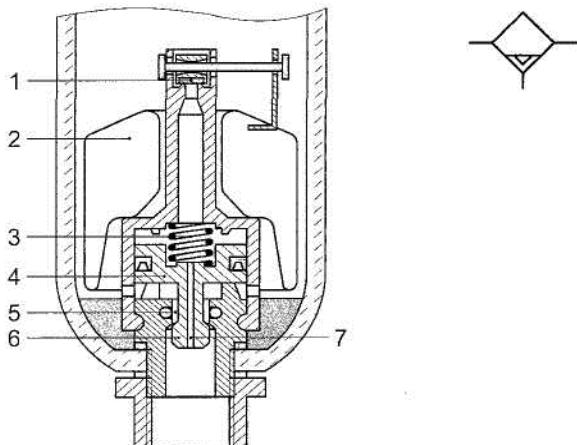


Рисунок 6.5 – Автоматический конденсатоотводчик (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):  
1 – управляющий клапан; 2 – поплавок; 3 – пружина; 4 – поршень;  
5 – сливной канал; 6 – шток; 7 – дроссельное отверстие

Слив конденсата будет продолжаться до тех пор, пока давление сжатого воздуха в этой полости, сообщающейся с полостью стакана через дроссельное отверстие 7 в поршне 4, не снизится до значения меньшего, чем давление в стакане, после чего поршень 4 переместится в верхнее положение, и сливной канал 5 перекроется. Условное графическое обозначение фильтра-влагоотделителя, снабженного автоматическим конденсатоотводчиком, представлено на рис. 6.6.

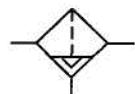


Рисунок 6.6 – Условное графическое изображение фильтра-влагоотделителя с автоматическим отводом конденсата

Эффективная работа очистных устройств для очистки сжатого воздуха возможна только в определенном диапазоне расходов, указанном в руководстве по эксплуатации.

С целью снижения вероятности образования конденсата в пневмолиниях источник сжатого воздуха снабжают устройствами охлаждения и осушки, которые устанавливают непосредственно за компрессором. Как правило, сжатый воздух, нагнетаемый компрессором, поступает в теплообменник, где охлаждается до  $(25 - 40) ^\circ\text{C}$ , что приводит к конденсации части влаги. В некоторых случаях необходим горячий воздух, для получения которого применяют подогреватели.

Условные графические обозначения теплообменника и подогревателя с естественным охлаждением и обогревом соответственно представлены на рис. 6.7.

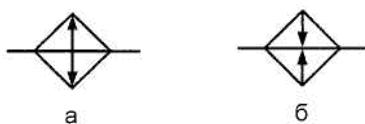


Рисунок 6.7 – Условные графические обозначения теплообменника и подогревателя:  
а) охладителя; б) подогревателя

Стрелки на условных графических обозначениях указывают на отвод (охладитель, рис. 6.7 а) и подвод (подогреватель, рис. 6.7 б) теплоты к воздушной магистрали.

## 6.2 Устройства осушки

В зависимости от требований к степени осушки воздуха для конкретных потребителей применяют различные устройства осушки (рис. 6.8): рефрижераторные; абсорбционные; адсорбционные.

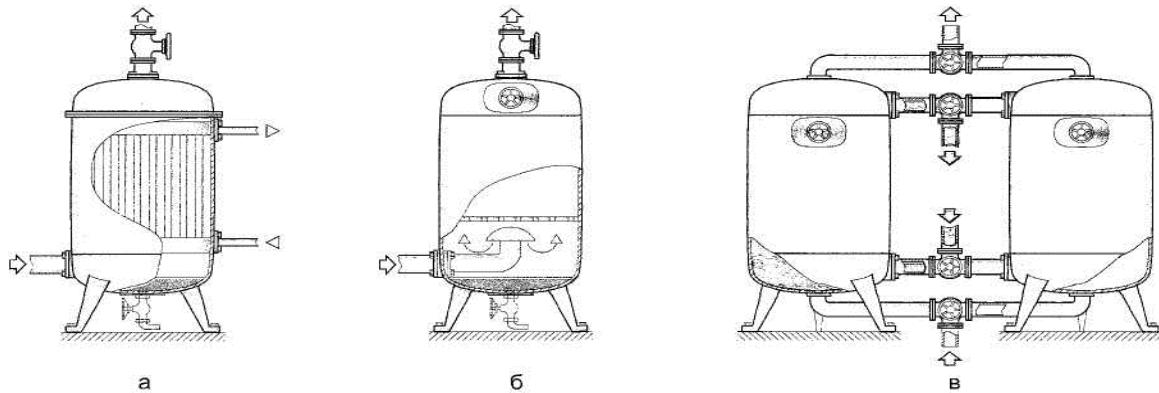


Рисунок 6.8 – Устройства осушки сжатого воздуха:  
а) аппарат рефрижераторной установки; б) аппарат абсорбционной установки;  
в) аппарат адсорбционной установки

Получить осушенный сжатый воздух с точкой росы (2 – 7) °С позволяют рефрижераторные установки, в состав которых входит резервуар с охлаждающим радиатором (рис. 6.8 а). Воздух охлаждается, проходя через такой резервуар, за счет циркуляции хладагента (фреон, аммиак и т. п.). Осушка воздуха осуществляется посредством принудительной конденсации влаги на радиаторе. Конденсат, собираемый в нижней части установки, должен периодически удаляться из нее путем присоединения к дренажной системе.

В абсорбционных осушителях воздух поступает снизу в резервуар, заполненный специальным абсорбирующим (поглощающим, химически связывающим влагу) веществом – флюсом, и выходит из верхней части резервуара (рис. 6.8 б). Соединение флюса и воды в желеобразном состоянии стекает в нижнюю часть установки и регулярно должно удаляться из нее. Со временем флюс расходуется и его приходится заменять новым. Это является недостатком подобного технического решения. Тем не менее, способ абсорбционной осушки характеризуется простотой установки, небольшим механическим износом, отсутствием расхода внешней энергии. После абсорбционной осушки точка росы сжатого воздуха понижается до минус 10 °С.

При необходимости более глубокой осушки сжатого воздуха применяют адсорбционные осушители (рис. 6.8 в), позволяющие снизить точку росы до минус 70 °С. В качестве осушающих веществ в них используют адсорбенты – вещества, осаждающие влагу на своей поверхности (активированный уголь, активный оксид алюминия – алюмогель, силикагель и т. д.). Адсорбенты способны восстанавливать свои влагопоглощающие свойства после

регенерации, заключающейся в их принудительной осушке, например, с помощью теплого воздуха. В состав установки входят два параллельно установленных адсорбера. Система кранов на трубопроводах позволяет подключать установку таким образом, что в то время, когда один адсорбент работает в режиме осушки воздуха, другой находится в режиме регенерации.

Выпускают адсорбционные осушители различной производительности, позволяющие удовлетворить потребности в сухом сжатом воздухе как целого предприятия (рис. 6.9 а), так и отдельного цеха (рис. 6.9 б) или конкретной технологической установки (рис. 6.9 в).

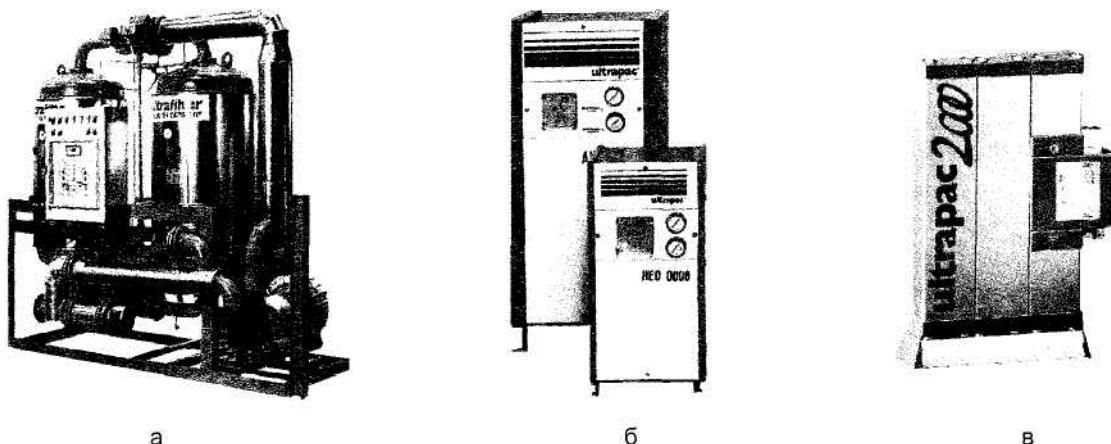


Рисунок 6.9 – Адсорбционные установки большой (а), средней (б) и малой (в) производительности

Режимы работы адсорбентов переключаются автоматически с периодичностью, определяемой параметрами конкретной установки. При нормальных условиях эксплуатации сушильный агент необходимо заменять каждые 2 – 3 года.

Условное графическое обозначение устройства осушки показано на рис. 6.10.

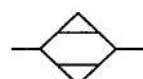


Рисунок 6.10 – Условное графическое обозначение воздухоочистителя

### 6.3 Ресиверы

Выравнивание колебаний давления в сети при расходовании сжатого воздуха и создание резервного запаса воздуха осуществляются путем использования специальных емкостей (воздухосборников) – ресиверов (рис. 6.11). Объем ресивера выбирают в зависимости от режима работы компрессорной установки, его величина должна составлять не менее половины объема воздуха, всасываемого компрессором в течение одной минуты.

Отбор сжатого воздуха из ресивера в систему осуществляют из верхней его части, т. к. в нижней части со временем скапливается конденсат, для отвода которого применяют устройства автоматического или ручного слива.

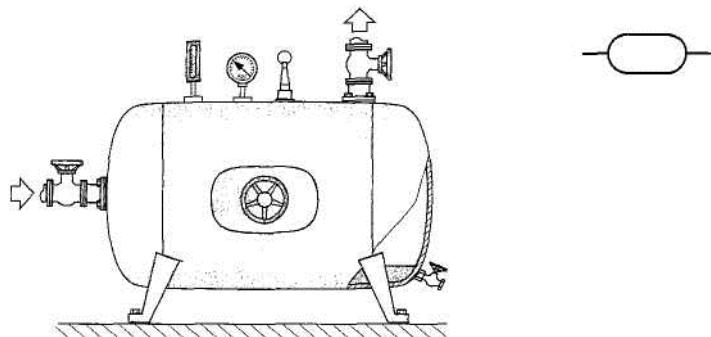


Рисунок 6.11 – Ресивер (конструкция и условное графическое обозначение на схемах)

Аккумулирование энергии сжатого воздуха в ресивере позволяет периодически отключать компрессор от пневмосети (переводить в режим разгрузки). Обычно это делается автоматически, когда давление в ресивере достигает значения, на которое настроен установленный на нем электрический датчик давления. Как только давление падает ниже предельного значения, датчик выдает сигнал на подключение компрессора, и он работает под нагрузкой не постоянно, а периодически, по мере того как расходуется сжатый воздух в пневмосети.

Поскольку ресивер является емкостью, находящейся под давлением, то с целью обеспечения безопасности эксплуатации его снабжают предохранительным пневмоклапаном, предназначенным для автоматического сброса сжатого воздуха в атмосферу при повышении давления сверх установленного значения (рис. 6.12).

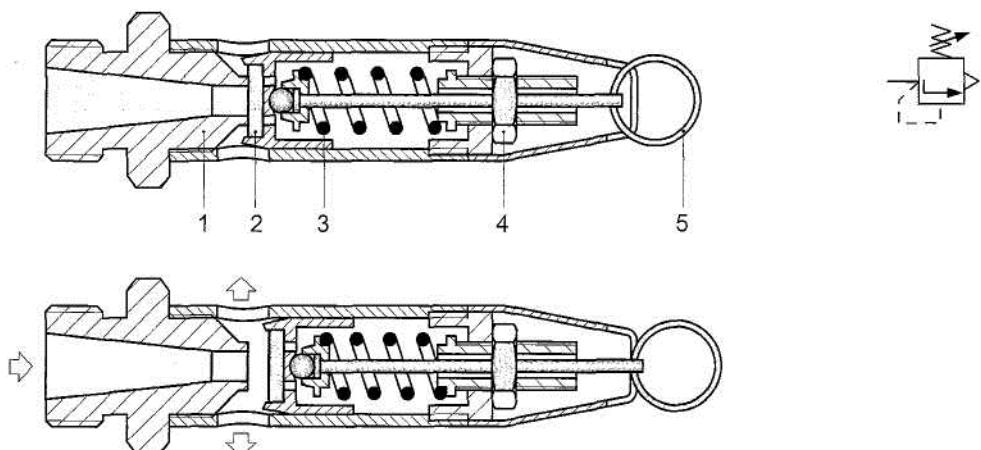


Рисунок 6.12 – Предохранительный пневмоклапан (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):

1 – седло; 2 – тарельчатый клапан; 3 – пружина; 4 – гайка; 5 – кольцо

В нормальном состоянии ЗРЭ – тарельчатый клапан 2 – прижат к седлу 1 пружиной 3, силу сжатия которой настраивают посредством специально предусмотренной гайки 4. При повышении давления под клапаном сверх значения, определяемого настройкой пружины, тарельчатый клапан отходит от седла, обеспечивая свободный выход воздуха вплоть до того момента, когда давление упадет ниже номинального значения срабатывания клапана, после чего

последний закрывается. Исправность клапана можно проверить продувкой, используя кольцо 5 для принудительного его открытия. Функциональное назначение и принцип действия предохранительного пневмоклапана отображены в его условном графическом обозначении (рис. 6.13).

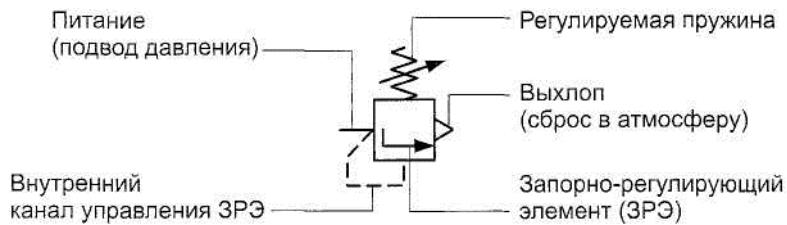


Рисунок 6.13 – Условное графическое обозначение регулируемого предохранительного клапана

Изображение квадрата с расположенной внутри него линией со стрелкой обозначает, что положение ЗРЭ аппарата зависит от параметров потока сжатого воздуха (давления). Стрелка показывает направление движения потока. Линия со стрелкой (ЗРЭ) не соединяет на условном графическом обозначении линию питания с выхлопом (обозначен треугольником), и это говорит о том, что в нормальном состоянии аппарат закрыт, т. е. сжатый воздух, подводимый к аппарату, не проходит через него. Рассматриваемая линия со стрелкой на конце сдвинута на условном графическом обозначении относительно оси «питание – выхлоп» вниз, в сторону действия пружины (в реальном клапане ЗРЭ прижат к седлу пружиной). Чтобы эта линия «соединила» линию питания с выхлопом, ей необходимо «преодолеть силу сжатия пружины» (что и происходит с ЗРЭ в реальном клапане). Сжатый воздух под давлением «подводится к стрелке» (к ЗРЭ в реальном клапане) от линии питания по «каналу управления», наличие которого указывает на то, что аппарат реагирует на значение входного давления (реагирует на давление «перед собой»).

На практике часто применяют предохранительные клапаны, в конструкции которых не заложена возможность регулировки силы предварительного сжатия пружины. В таких случаях символ, обозначающий пружину, изображают без пересекающей его стрелки (рис. 6.14).

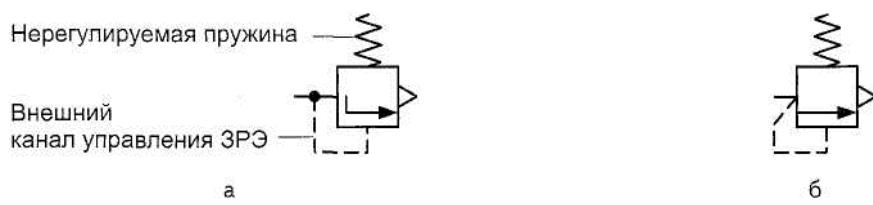


Рисунок 6.14 – Условное графическое обозначение нерегулируемого предохранительного пневмоклапана:

- ЗРЭ при своем движении всегда связан с каналом питания;
- ЗРЭ при своем движении всегда не связан с каналом питания

Линия со стрелкой может не иметь перпендикулярного к ней отрезка в своей начальной точке (рис. 6.14 б); этот отрезок (рис. 6.14 а) обозначает, что ЗРЭ при своем движении всегда связан с каналом питания.

Параметры находящегося в ресивере сжатого воздуха (температуру и давление) контролируют установленными на нем термометром и манометром. Условные графические обозначения этих устройств представлены на рис. 6.15.



Рисунок 6.15 – Условное графическое обозначение:  
а) термометра; б) манометра

Существуют разнообразные конструктивные решения устройств контроля давления, но наиболее часто применяют стрелочные манометры, чувствительным элементом которых служит тонкостенная упругая трубка (трубка Бурдона) (рис. 6.16).

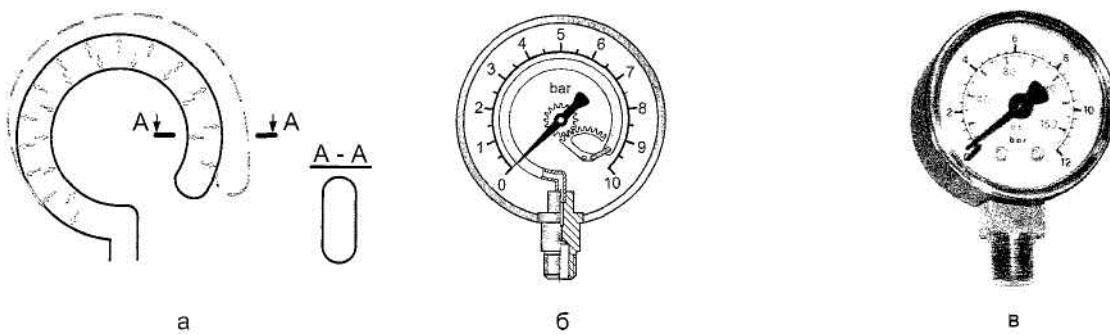


Рисунок 6.16 – Стрелочный манометр с трубкой Бурдона:  
а) трубка Бурдона; б) конструкция манометра; в) внешний вид манометра

Через специальный штуцер, подсоединененный к контролируемой точке пневмосистемы, в трубку подается сжатый воздух. Под действием оказываемого им давления трубка распрямляется (рис. 6.16 а), поворачивая через тягу и зубчатый сектор находящееся в зацеплении с последним зубчатое колесо, жестко связанное со стрелкой, которая, в свою очередь, перемещается относительно шкалы с рисками, соответствующими определенным значениям давления в трубке (рис. 6.16 б, в).

Входящие в состав пневмопривода манометры должны иметь красную черту, нанесенную поверх деления, соответствующего максимально допустимому рабочему давлению.

Варианты размещения устройств очистки и осушки сжатого воздуха в пневмосети с нецентрализованной (а) и централизованной (б) осушкой представлены на рис. 6.17.

Группа пневматических устройств, условные графические обозначения которых на схеме охватываются замкнутой штрихпунктирной линией, составляет единый функциональный блок. На приведенных схемах таким блоком является компрессорная станция.

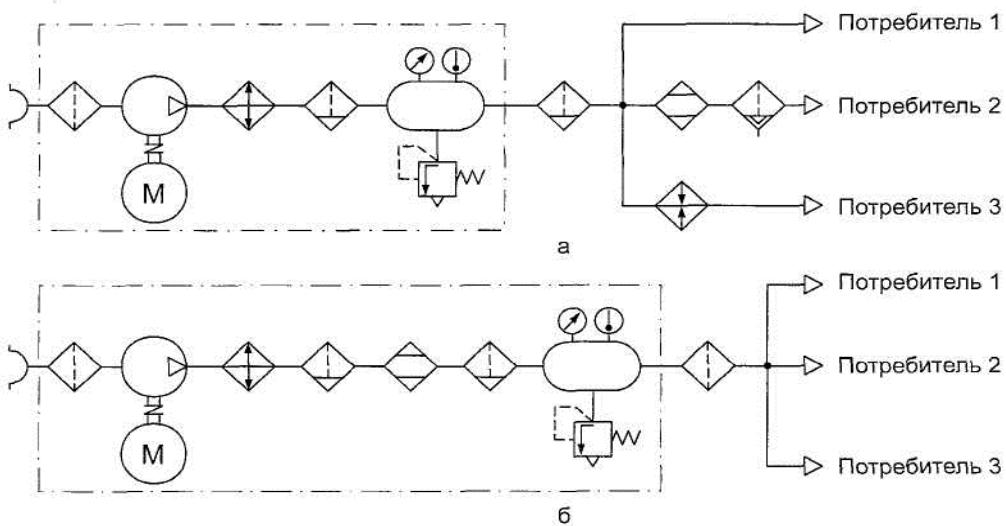


Рисунок 6.17 – Варианты схем размещения устройств очистки и осушки в пневмосистемах:

а) для пневмосети с нецентрализованной осушкой; б) для пневмосети с централизованной осушкой

На принципиальных пневматических схемах машин и установок, работающих от заводской сети сжатого воздуха, развернутое изображение источника питания не приводят, а используют условное графическое обозначение в виде незакрашенного треугольника или окружности с точкой в центре.

#### 6.4 Трубопроводы. Соединения трубопроводов

Выбор типа и материала трубопровода зависит от рабочего давления, температуры и агрессивности окружающей и рабочей сред, вида соединений труб, условий монтажа, массы и стоимости труб. При этом трубопроводы могут быть гибкими и жесткими.

Диаметры трубопроводов должны быть такими, чтобы потери давления сжатого воздуха на пути от источника до потребителя не превышали 100 кПа (1 бар). Выбирают диаметры трубопроводов на основе требуемых значений расхода воздуха под определенным давлением, длин трубопроводов, давления в ресивере, числа и характера местных сопротивлений.

При монтаже трубопроводов должны обеспечиваться не только прочность и плотность соединений, надежность крепления на опорах, но и возможность удаления из них влаги и осуществления продувки и промывки. С этой целью в трубопроводах предусматривают контрольные участки, располагаемые в местах наиболее вероятного скопления масляных отложений и на труднопромываемых участках (вертикальных и с местным снижением скорости движения воздуха).

Трубопроводы следует прокладывать по кратчайшим расстояниям, с минимальным числом перегибов и пересечений.

Чтобы все потребители сжатого воздуха снабжались равномерно, магистральные трубопроводы на промышленных предприятиях закольцовывают. Это уменьшает потери энергии, а также позволяет ремонтировать отдельные участки трубопроводов, не отключая всей системы.

Необходимо избегать образования впадин, так как это приводит к накоплению воды, масла и грязи.

Необходимость в гибких трубопроводах возникает, когда требуется подводить сжатый воздух к расположенным на различных машинах и механизмах пневматическим устройствам, для которых характерно наличие относительных перемещений. Преимущества гибких трубопроводов (шлангов) из синтетических материалов (полихлорвинила, полиамида, полиуретана и др.) заключаются в высокой антикоррозионной стойкости, удобстве и простоте монтажа, а также в более низкой стоимости по сравнению с металлическими трубами. При монтаже шлангов необходимо учитывать, что они могут работать только на изгиб, а работа на кручение для них недопустима. Примеры правильного и неправильного монтажа шлангов представлены на рис. 6.18 (неправильные варианты перечеркнуты).

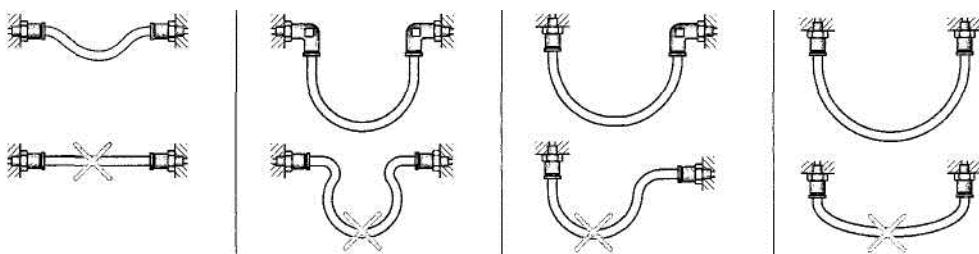


Рисунок 6.18 – Монтаж гибких трубопроводов (шлангов)

Шланги монтируют таким образом, чтобы их участки вблизи арматуры не подвергались изгибу, не терлись один о другой и о детали конструкции при работе пневмопривода.

Часть масла, попадающего в сжатый воздух, оседает на стенках воздухопроводов. При этом из нагретого масла испаряются летучие компоненты, в результате чего образуется слой коксообразных отложений – нагар. Применяют два способа очистки трубопроводов от нагара: 1) промывка водой и продувка сжатым воздухом; 2) химическая очистка.

Условные графические обозначения трубопроводов приведены на рис.6.19.



Рисунок 6.19 – Условные графические обозначения трубопроводов

На монтажных, а иногда и на принципиальных пневматических схемах рядом с условным графическим обозначением трубопроводов проставляют буквенно-цифровые обозначения, которые служат для указания диаметра и материала конкретного участка трубы.

**Соединения трубопроводов.** Для объединения отдельных труб в трубопроводы и подключения к ним пневматических устройств и аппаратов используют неразъемные и разъемные соединения.

Неразъемные соединения применяют преимущественно в магистральных трубопроводах, не подлежащих демонтажу. Выполняют их с помощью сварки (для стальных труб) или пайки (для труб из цветных металлов).

Длястыковки трубопроводов друг с другом и с элементами пневматических систем служат концевые и промежуточные соединения. Для труб с внутренним диаметром до 40 мм применяют резьбовые соединения, для труб большего диаметра – фланцевые.

Фланцевые соединения просты в изготовлении и для монтажа, не имеют ограничений по значениям диаметров соединяемых труб и числу операций монтажа-демонтажа. Для жесткой связи с трубой применяют плоские приварные фланцы (рис. 6.20 а), а если при монтаже необходим разворот фланцев или труб, то используют накидные фланцы, надеваемые на трубу с приваренным к ней ниппелем (рис. 6.20 б).



Рисунок 6.20 – Фланцевые соединения трубопроводов, имеющие:  
а) плоский приварной фланец; б) накидной фланец

Герметизация места соединения обеспечивается с помощью уплотнительного кольца, устанавливаемого в проточке на торце фланца или ниппеля, либо с помощью прокладок, которые сжимаются при затяжке.

Широкий спектр вариантов резьбовых соединений связан с применением различных материалов труб, разных способов сочленения труб с деталями соединения, с требованием обеспечения подвижности или неподвижности соединения, с необходимостью осуществления перехода от одного диаметра трубы к другому, соединения с внешней либо внутренней резьбой и т. д.

Для тонкостенных металлических труб наиболее широко применяют соединения с развалицовкой трубы (рис. 6.21 а) и с врезающимся кольцом (рис. 6.21 б), допускающие многократный монтаж-демонтаж (до 15 – 20 раз) без нарушения герметичности.



Рисунок 6.21 – Соединения тонкостенных металлических труб:  
а) с развалицовкой трубы; б) с врезающимся кольцом; 1 – коническая резьба;  
2 – штуцер; 3 – накидная гайка; 4 – ниппель

Соединение для развализованной трубы (рис. 6.21 а) состоит из штуцера 2 с присоединительной цилиндрической или конической резьбой 1, ниппеля 4 и накидной гайки 3. Трубу с предварительно надетым на нее ниппелем развализывают в виде растрюба, надеваемого на коническую часть штуцера. Ниппель с трубой и штуцер стягиваются вместе с помощью накидной гайки, при этом в месте сопряжения образуется плотное соединение.

Соединение с врезающимся кольцом (рис. 6.21 б) не требует применения специального инструмента и предварительной разделки конца трубы. При завинчивании гайки кольцо, деформируясь, врезается в поверхность трубы, что препятствует ее выскальзыванию и обеспечивает необходимую герметичность соединения. При использовании таких соединений предъявляют повышенные требования к точности геометрических размеров и качеству наружной поверхности трубы.

Для предотвращения утечек по присоединительной резьбе соединений используют резиновые и пластмассовые кольца. Без этих колец можно обойтись, если применяется коническая резьба либо цилиндрическая с тефлоновым покрытием или со вставками из полимерных материалов.

Способ монтажа гибких трубопроводов зависит от их размеров, давления и условий эксплуатации в каждом конкретном случае. Для надежного присоединения эластичных труб применяют в основном два конструктивных решения: 1) соединение с фигурным наконечником штуцера и накидной гайкой (рис. 6.22 а); 2) быстроразъемное соединение с цанговым зажимом (рис. 6.22 б).



Рисунок 6.22 – Соединения для гибких трубопроводов:

а) соединение с фигурным наконечником штуцера и накидной гайкой; б) быстроразъемное соединение с цанговым зажимом

В первом случае герметичность соединения обеспечивается защемлением шланга между утолщением наконечника штуцера и накидной гайкой; во втором – уплотнительным кольцом, охватывающим шланг по наружному диаметру. Если при монтаже соединения с накидной гайкой требуются некоторые временные затраты, то в быстроразъемном соединении с цанговым зажимом монтаж сводится к простому вводу шланга в зажим. Демонтаж такого соединения осуществляется при нажатии на свободный торец цанги. Соединения с цанговым зажимом имеют, как правило, меньшие поперечные размеры, т. к. в них отсутствуют внешние поверхности под гаечный ключ, а часть канала выполнена с внутренним шестигранником под соответствующий ключ.

Применение рассмотренных выше прямых соединений приводит к резкому перегибу шланга в случае, когда он подводится к плоскости

присоединения под малым углом. Избежать этого можно путем использования угловых соединений – L-образных (рис. 6.23, а) или тройников (рис. 7.23, б).

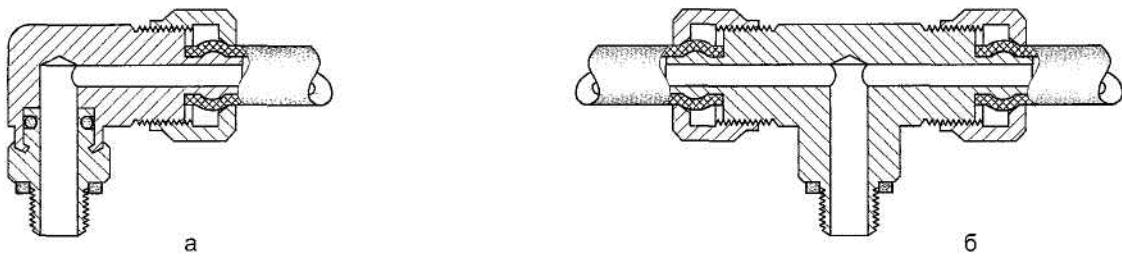


Рисунок 6.23 – Угловые соединения для гибких трубопроводов:  
а) L-образное; б) тройник

Если для удобства прокладки гибких трубопроводов выход соединения должен быть ориентирован в пространстве определенным образом, применяют конструкции, в которых обеспечена возможность проворачивания одной части соединения относительно другой (рис. 6.24). Чтобы предотвратить утечки воздуха между подвижными частями соединения, устанавливают уплотнительное резиновое кольцо.

Для удобной разводки нескольких разнонаправленных трубопроводов от одной точки присоединения используют многосекционные разводные коллекторы (рис. 6.24).

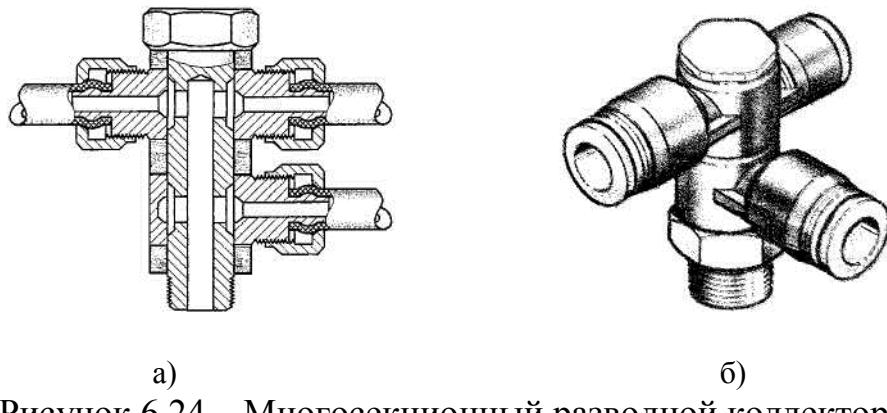


Рисунок 6.24 – Многосекционный разводной коллектор:  
а) конструкция; б) внешний вид

Секции стягивают между собой через уплотнения пустотелым болтом, который, по существу, является присоединительным элементом. Предусмотрена возможность поворота секций относительно оси болта, что позволяет отводить трубопроводы в нужных направлениях без перегибов.

В тех случаях, когда необходимо разъединить трубопровод без потери герметизации в подводящей его части, применяют быстроразъемные муфты (рис. 6.25).

В подводящую часть такой муфты – розетку 1 – вмонтирован обратный клапан 2, который не позволяет вытекать воздуху, если муфта находится в разъединенном состоянии. Обратный клапан принудительно открывается штекером 7 (ответной частью муфты) при вводе последнего в розетку 1. Соединение «розетка – штекер» надежно удерживается в замкнутом состоянии

посредством шариков 3, запертых в проточке штекера 6 подпружиненной фиксирующей втулкой 5. Разъединение муфты осуществляется путем сдвига фиксирующей втулки 5 в сторону подводящей части трубопровода. При этом шарики 3 получают возможность радиального перемещения в проточке 4 и недерживают штекер 7, который вследствие этого выталкивается из розетки пружиной обратного клапана 2.

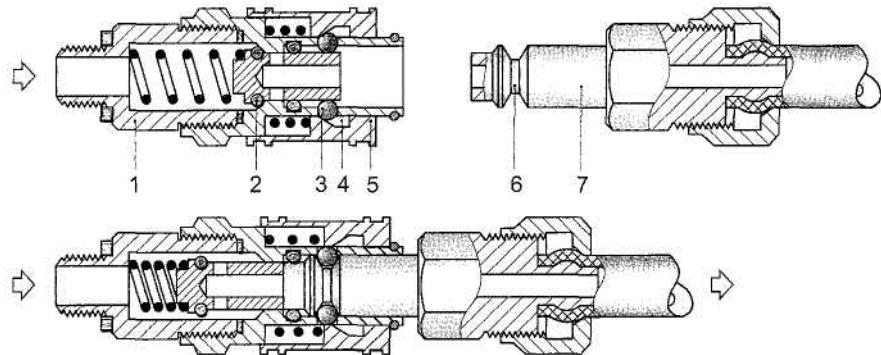


Рисунок 6.25 – Быстроразъемная муфта:

- 1 – розетка;
- 2 – обратный клапан;
- 3 – шарик;
- 4 – проточка розетки;
- 5 – фиксирующая втулка;
- 6 – проточка штекера;
- 7 – штекер

Если при демонтаже трубопровода необходимо сохранить его герметичность с обеих сторон соединения, то применяют муфты, у которых обратные клапаны вмонтированы и в розетку, и в штекер. При замыкании такой муфты обратные клапаны отжимают друг друга, соединяя тем самым трубопроводы.

Для компактной коммутации большого числа шлангов диаметрами (1,5 – 4,0) мм применяют многоканальные соединения. Обычно эти соединения, используемые как выходы из шкафов управления, объединяют в себе от 5 до 32 разъемов (рис. 6.26).

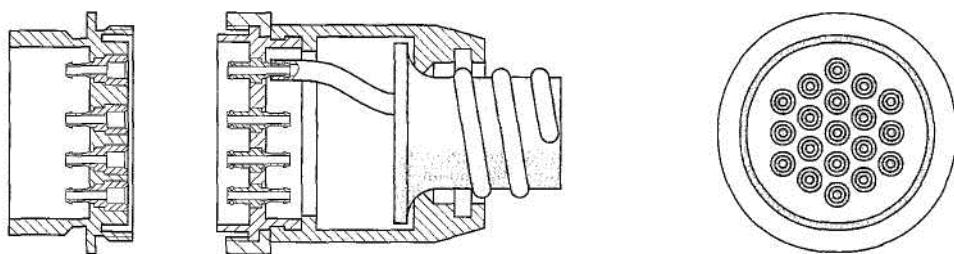


Рисунок 6.26 – Многоканальное разъемное соединение

В одном многоканальном соединении могут быть установлены штекеры и розетки под трубопроводы, имеющие различные диаметры и находящиеся под разным давлением.

На монтажных схемах применяют следующие условные графические обозначения типа соединения трубопроводов (рис. 6.27).

Место присоединения: несоединенное соединение		Штуцерное резьбовое соединение	
Общее обозначение разъемного соединения		Быстроразъемное соединение без запорного элемента: несоединенное соединение	
Фланцевое соединение		Быстроразъемное соединение с запорным элементом: несоединенное соединение	

Рисунок 6.27 – Условные графические обозначения соединений трубопроводов

## 6.5 Маслораспылители и блоки подготовки воздуха

Если подвижные части пневмоцилиндров, пневмомоторов или иных пневматических устройств нуждаются в постоянном внешнем смазывании, то к трущимся поверхностям наиболее просто подавать смазывающий материал с потоком поступающего в них воздуха. Устройства, обеспечивающие ввод масла в поток воздуха, называют *маслораспылителями*. Устанавливают их, как правило, в блоке подготовки воздуха за фильтром-влагоотделителем и редукционным клапаном.

Чтобы масло переносилось потоком сжатого воздуха по трубопроводам на значительные расстояния, его вводят в виде аэрозоля. Маслораспылители делают по особенностям функционирования и качеству получаемого таким способом масляного тумана на два типа: однократного и двукратного распыления (рис. 6.28).

В маслораспылителях однократного распыления (рис. 6.28 а) поток сжатого воздуха направляется с входа аппарата непосредственно на выход. Часть воздуха через обратный клапан 3 попадает в стакан 4 и начинает вытеснять масло по маслозаборной трубке 5 в смотровой колпачок-капельницу 1, через который осуществляется визуальный контроль за подачей масла. Расход масла регулируется винтом 2, вращение которого сопровождается изменением проходного сечения маслоподающего канала. По эжектирующей трубке 6 происходит подсос масла из колпачка 1 в основной поток, при попадании в который оно распыляется. Поскольку основная часть распыленного масла смачивает внутреннюю поверхность трубопровода, то на расстоянии (1,5 – 2) м от маслораспылителя начинается образование тонкой масляной пленки, которая перемещается по направлению движения потока воздуха. В связи с этим маслораспылители однократного распыления рекомендуется устанавливать непосредственно перед смазываемым пневмоаппаратом или выше него, чтобы масло могло поступать самотеком.

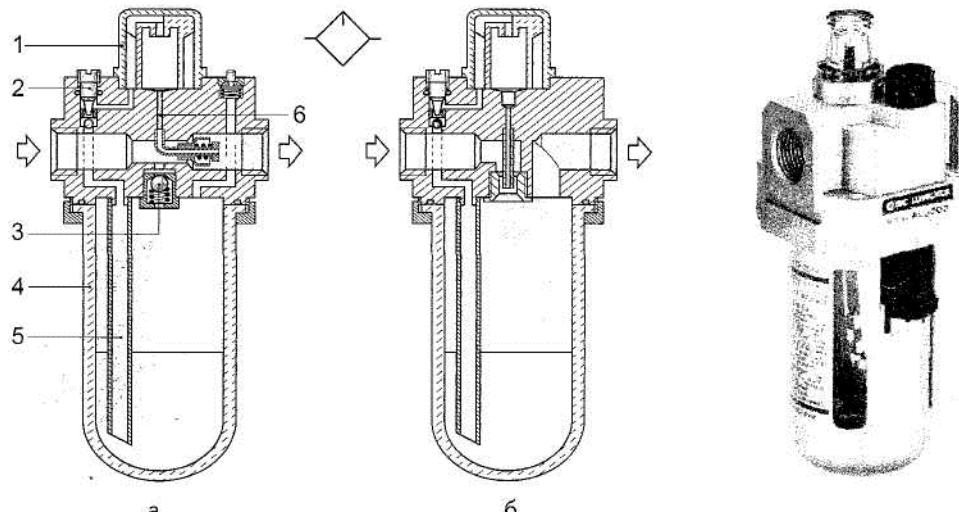


Рисунок 6.28 – Маслораспылители (конструкция и условное графическое обозначение на схемах):  
а) однократного распыления; б) двукратного распыления;

1 – смотровой колпачок-капельница; 2 – винт; 3 – обратный клапан; 4 – стакан;  
5 – маслозаборная трубка; 6 – эжектирующая трубка

При необходимости транспортировки масла на расстояния до 30 м применяют маслораспылители двукратного распыления (рис. 6.28 б). В этих устройствах распыленное масло не подается сразу на выход, а поступает в стакан, из которого в выходной канал попадают только частицы масла размером менее 3 мкм. Обычно такие маслораспылители применяются в сложных пневмоприводах с большим числом пневмоустройств.

В каталогах элементов промышленной пневмоавтоматики приводятся следующие данные по маслораспылителям:

- номинальный расход;
- диапазон рабочих давлений;
- объем масла или емкости для масла; габаритные и присоединительные размеры;
- материалы конструктивных элементов.

Марки и количество вносимых смазочных материалов должны указываться в руководстве по эксплуатации для конкретного пневматического устройства. Если такая информация отсутствует, рекомендуется заправлять маслораспылители минеральными маслами, вязкость которых не превышает  $35 \text{ mm}^2/\text{s}$  ( $cSt$ ) при температуре  $50^\circ\text{C}$ ; при этом расход масла должен составлять 1 – 10 капель на  $1 \text{ m}^3$  сжатого воздуха. Запрещается заправлять в маслораспылители компрессорные масла!

Для удобства обслуживания маслораспылители устанавливают последовательно с фильтрами-влагоотделителями и редукционными пневмоклапанами и объединяют в единые функциональные блоки – блоки подготовки воздуха (рис. 6.29).



Рисунок 6.29 – Блоки подготовки воздуха:

- а) фильтр-влагоотделитель – редукционный клапан – маслораспылитель;
- б) фильтр-регулятор – маслораспылитель

В зависимости от того, состоит ли блок подготовки воздуха из отдельных устройств или выполнен в виде моноблока, его условные графические обозначения на принципиальных пневмосхемах будут несколько различаться (рис. 6.30).

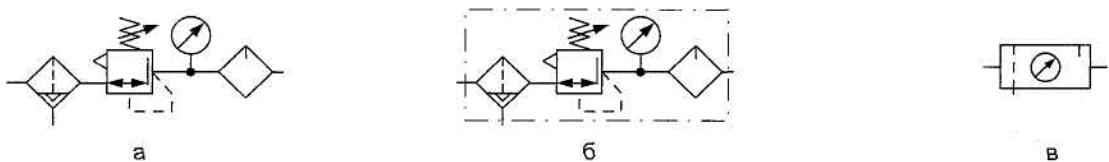


Рисунок 6.30 – Условные графические обозначения блоков подготовки воздуха:  
а) блок подготовки воздуха, состоящий из отдельных устройств; б) моноблоочное исполнение, развернутое обозначение; в) моноблоочное исполнение, упрощенное обозначение

На рис. 6.30 а показано обозначение блока подготовки воздуха, состоящего из отдельных устройств. На принципиальной пневмосхеме каждому их них присваивают свой номер для внесения в спецификацию. На рис. 6.30 б показано развернутое обозначение блока подготовки воздуха, выполненного в виде моноблока, а на рис. 6.30 в – его упрощенное обозначение.

Для пневмоприводов, эксплуатируемых в тяжелых условиях и с высокой цикличностью работы при жестких требованиях к надежности, применяют более сложные системы смазки с регенерацией и циркуляцией масла. В таких случаях используют фильтры-маслоотделители, которые устанавливают на общей линии сброса отработавшего сжатого воздуха (линии выхлопа). Отделенное от воздуха масло с помощью специальных насосов вновь подается в маслораспылители, что позволяет снизить его расход в 8 – 10 раз.

Хотя тем или иным способом можно решить проблему подачи внешней смазки к пневмоустройствам, удобнее и выгоднее применять аппаратуру, способную работать на воздухе, не содержащем масла.

Для нормального функционирования подобных устройств в течение всего их жизненного цикла достаточно внести в них консистентную смазку при сборке. Такое техническое решение возможно благодаря применению новых

материалов с низким коэффициентом трения для изготовления корпусных и подвижных деталей, а также специальных полимеров для уплотнений. Такие пневмоприводы имеют ряд существенных преимуществ: не требуются специальные смазывающие устройства; окружающая среда не загрязняется парами минеральных масел при сбросе отработавшего сжатого воздуха; эксплуатация и обслуживание не вызывают затруднений. Использовать сжатый воздух с распыленным маслом в таких пневмоприводах не рекомендуется, поскольку в таком случае будет происходить вымывание консистентной смазки. После работы на воздухе, содержащем масло, эксплуатация таких устройств на сухом воздухе не допускается.

Если некоторые элементы пневмопривода нуждаются во внешней смазке (чаще всего – исполнительные механизмы), а некоторые – не нуждаются (например, аппараты системы управления), то в блок подготовки воздуха встраивают модуль отвода, который располагают перед маслораспылителем (рис. 6.31).

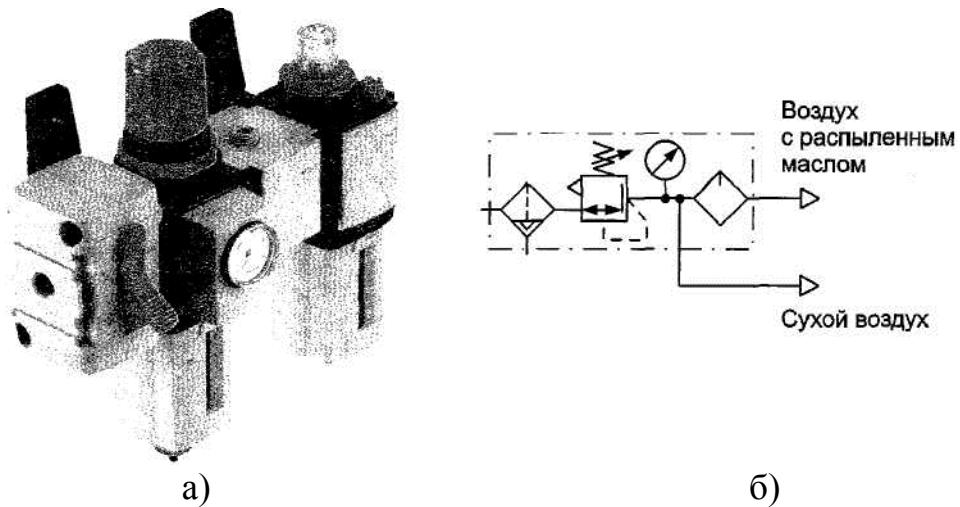


Рисунок 6.31 – Внешний вид (а) и принципиальная схема (б)  
блока подготовки воздуха с модулем отвода

Таким образом, блок подготовки сжатого воздуха – это совокупность устройств кондиционирования воздуха, которые должны располагаться на каждой автономной машине или на каждом механизме в составе сложного технологического оборудования, потребляющего сжатый воздух. Пневмопривод конкретной машины начинается, собственно, с блока подготовки сжатого воздуха. Правильная подготовка сжатого воздуха представляет собой необходимое условие надежного функционирования и долговечности пневматических систем.

Основные правила по эксплуатации блоков подготовки воздуха:

- блоки подготовки сжатого воздуха должны располагаться вертикально ( $\pm 5^\circ$ );
- при отсутствии автоматического конденсатоотводчика недопустимо, чтобы уровень конденсата в фильтре-влагоотделителе превышал допустимую норму;
- давление настройки редукционного клапана не должно превышать требуемый уровень рабочего давления пневмопривода;

- в маслораспылители следует заправлять те масла, которые подходят для смазывания пневмоустройств;
- необходимо периодически промывать внутренние поверхности устройств от накапливающихся отложений.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие виды фильтров вы знаете и для чего они используются?
2. Как удалить из потока сжатого воздуха компрессорное масло?
3. При помощи каких устройств осушают сжатый воздух в пневмосистемах?
4. Для чего необходимы ресиверы и как они защищены от избыточного давления?
5. Какие требования применяются при монтаже гибких трубопроводов?
6. При помощи чего реализуется постоянное внешнее смазывание пневматических устройств?

## **7 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ**

Продолжительность безотказной работы пневматических систем в значительной мере зависит от организации и качества технического обслуживания, которое призвано обеспечить выполнение требований, приведенных в технической документации на оборудование. В процессе эксплуатации пневмоприводов расходуемые материалы неизбежно заканчиваются, рабочие параметры в связи с воздействием различных факторов постепенно отклоняются от заданных значений, отдельные компоненты приводов исчерпывают ресурс и отказывают. Таким образом, в рабочем состоянии пневмопривод поддерживается благодаря регулярному и качественному техническому обслуживанию, а также плановым, а при необходимости и аварийным ремонтам.

### **7.1 Техническое обслуживание пневматических приводов**

#### **Обслуживание устройств очистки сжатого воздуха**

Качество работы пневмоприводов напрямую зависит от чистоты сжатого воздуха, определяемой, в свою очередь, уровнем технического обслуживания устройств подготовки воздуха, состоянием внутренних поверхностей трубопроводов и другими факторами.

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  $0,1 \text{ МПа}$ , то фильтроэлемент заменяют или восстанавливают его пропускную способность.

Напомним, что эффективная работа очистных устройств возможна только в определенном диапазоне расходов сжатого воздуха, указываемом в технической документации.

#### **Обслуживание смазочных устройств**

Одним из важнейших условий обеспечения эксплуатационной надежности пневмоприводов является выполнение требований к смазке

трущихся поверхностей пневматических устройств. Техническое обслуживание смазочных устройств заключается в своевременном восполнении расходуемых смазочных материалов и наблюдении за их качественным состоянием.

Стабильность подачи смазочного материала маслораспылителями в значительной степени определяется вязкостью используемого масла, которая, в свою очередь, существенно зависит от температуры. Поэтому при достаточно больших изменениях температуры окружающей среды в зоне работы пневмоустройств или при изменении температуры сжатого воздуха необходимо перерегулировать маслораспылитель или сменить марку заливаемого масла.

Марки, количество и периодичность внесения смазочных материалов оговариваются в руководствах по эксплуатации конкретных пневматических устройств.

### **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. В последнем случае на выходе помещают лист чистого картона и по следам загрязнений определяют качество проведенных работ.

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. В связи с отсутствием строгой регламентации работ по обслуживанию пневмосистем 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.).

Результаты ежедневных осмотров заносят в протокол, а информацию о выявленных отклонениях и мерах по их устранению (если таковые были приняты) доводят до сведения соответствующих служб. Эти данные используют при разработке графиков периодических осмотров, ведомостей запасных частей и т. д.

*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.

## **7.2 Поиск и устранение неисправностей**

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.

Внезапные отказы характеризуются скачкообразным изменением заданных значений параметров привода (одного или нескольких), что обычно приводит к его останову или нарушению последовательности выполнения технологических операций. Отказ подобного рода очевиден, функционирование объекта прекращается в целях проведения ремонтных работ.

В случае постепенного отказа значения параметров привода (одного или нескольких) изменяются постепенно, что может быть обусловлено износом или прогрессирующим нарушением настроек каких-либо его элементов, уменьшением проходных сечений дросселирующих устройств, чрезмерным увеличением утечек и другими факторами. Постепенный отказ может и не сопровождаться видимыми нарушениями работы пневмопривода, но его наличие приводит к ухудшению качества и/или уменьшению объемов выпуска продукции. В связи с этим важно своевременно выявить и устранить причины постепенных отказов, что позволяет обеспечить нормальное функционирование системы и сократить число аварийных ремонтов.

Время, затрачиваемое на ремонт пневмопривода, складывается из двух составляющих: времени на поиск неисправности и времени на ее устранение.

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.

Применительно к пневмоприводам можно выделить два метода поиска неисправностей:

а) *табличный* – на основе анализа принципиальной пневматической схемы составляют таблицу, по которой выявляют оптимальную последовательность проверки элементов системы в зависимости от внешних проявлений имеющихся неполадок;

б) *алгоритмический* – поиск неисправностей осуществляют по заданному алгоритму с использованием списка достаточно простых рекомендаций, выведенных исходя из опыта эксплуатации пневмоприводов.

Если схема привода достаточно сложная, то с целью облегчения поиска неисправностей следует условно разделить ее на части по выполняемым функциям, по очередности срабатывания и другим критериям.

При поиске неисправности в первую очередь необходимо провести внешний осмотр для проверки состояния привода и машины (т. е. выяснить, не произошло ли заклинивание какой-либо детали, материала или подвижной части машины; не поломаны ли детали приводных механизмов устройств с механическим управлением и др.). При этом во избежание несчастных случаев или поломки устройств не следует нажимать на кнопки, выключатели и т. п.

Необходимо проверить, соответствует ли давление сжатого воздуха на входе пневмопривода нормативам технической документации. В ситуации, когда в силу производственной необходимости к системе могут подключаться дополнительные потребители и при этом общий расход воздуха будет превышать производительность компрессора, могут возникать сбои (самоустраниющиеся отказы), такие как нарушение временной последовательности, снижение величин усилий, развиваемых приводом, ниже допустимых значений и др. Если в пневмоприводе используются устройства с электрическим управлением, следует проверить, находятся ли электрические устройства под напряжением.

Проверить трубопроводы (в особенности эластичные) и убедиться в отсутствии перегибов, скручиваний и т. п. дефектов. Проверить герметичность соединений.

При проверке работоспособности привода необходимо учитывать следующее:

а) утечки сжатого воздуха из канала выхлопа пневмораспределителя могут иметь место не только в результате повреждения уплотнений в нем, но и вследствие выхода из строя уплотнений поршня в цилиндре;

б) причиной изменения динамики функционирования привода могут стать не только нарушение настройки регулирующих устройств (дросселей с механическим управлением и др.) или их неисправность, но и засорение глушителей в пневмораспределителях.

Пневматический привод целесообразно ремонтировать путем замены пневмоустройств. С одной стороны, в результате этого сокращается продолжительность ремонта производственного оборудования, а с другой – обеспечивается более высокое качество ремонта в связи с тем, что отказавшие пневмоустройства подлежат восстановлению на специализированном участке.

При демонтаже и монтаже пневмоустройств в процессе ремонта необходимо придерживаться следующих правил:

1) необходимо заменить уплотнительные кольца, а также прокладки на стыковых поверхностях и в соединениях;

2) желательно маркировать трубопроводы при их отсоединении (особенно это касается гибких трубопроводов), даже в случае отсоединения только одного конца трубопровода, что позволит избежать ошибок во время последующего монтажа пневмоустройств;

3) при выполнении работ по монтажу-демонтажу пневматических устройств особое внимание следует уделять предотвращению попадания загрязнителей в их внутренние полости.

### 7.3 Требования безопасности

Общие требования безопасности к пневмоприводам, которые вводятся в эксплуатацию, регламентируются следующими стандартами: ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности»; ГОСТ 17770-86 «Машины ручные. Требования к вибрационным характеристикам»; ГОСТ 12.2.007-75 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности».

*Требования безопасности к конструкции пневмоприводов и пневмоустройств.* Конструкция пневмоприводов и пневмоустройств должна быть надежной, обеспечивать безопасную эксплуатацию и предусматривать возможность проведения осмотра, очистки и ремонта. Ограждения, кожухи и другие приспособления, препятствующие внешнему осмотру пневмоустройств, должны быть съемными.

Пневмоприводы должны снабжаться устройствами, предназначенными для полного снятия давления сжатого воздуха в системе.

В целях исключения воздействия опасных и вредных производственных факторов пневмоприводы также должны быть оснащены:

– устройствами, предотвращающими повышение давления сверх значения, установленного нормативно-технической документацией;

– устройствами для улавливания масляных аэрозолей при выводе отработавшего воздуха в атмосферу, если уровень их концентрации в рабочем помещении может превысить предельные значения, устанавливаемые ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Если падение давления в пневмоприводах или напряжения в электрической сети может создать опасность для обслуживающего персонала или вызвать аварийную ситуацию, необходимо предусмотреть возможность блокировки пневмопривода – автоматического прекращения работы оборудования с одновременной подачей соответствующего светового или звукового сигнала. В то же время не должны отключаться устройства, вывод которых из рабочего состояния может привести к авариям и производственному травматизму (зажимные, прижимные, уравновешивающие, тормозные, стопорящие и другие устройства).

Если конечные положения пневматических исполнительных механизмов ограничиваются с помощью электрических или пневматических путевых выключателей, то в случае нарушения процесса нормального функционирования последних может возникнуть опасность травмирования обслуживающего персонала или аварийная ситуация. В целях предотвращения подобных последствий необходимо устанавливать жесткие упоры, защитные кожухи и другие приспособления для ограничения опасных перемещений.

Поверхности ограждений, защитных устройств и элементы конструкции пневмоприводов и пневмоустройств, которые могут представлять опасность для обслуживающего персонала, должны иметь знаки безопасности и сигнальные цвета в соответствии с ГОСТ 12.4.026-76 «ССБТ. Цвета сигнальные и знаки безопасности».

Конструкция регулируемых пневмоустройств, изменение настроек которых может привести систему в аварийное состояние, должна предусматривать надежную фиксацию регулирующих элементов с применением замков, пломб и других средств. Конструкция органов управления и их взаимное расположение, в свою очередь, должны исключать возможность самопроизвольного пуска привода. На пульте управления технологическим оборудованием, оснащенным пневмоприводами с

поддержкой возможности общего останова системы, устанавливают управляющий элемент красного цвета «СТОП ОБЩИЙ».

Величины усилий, развиваемых на ручных органах управления пневмоустройствами, должны удовлетворять требованиям соответствующих Государственных стандартов (это не относится к специальным управляющим органам и элементам, предназначенным для настройки редукционных пневмоклапанов): для переключателей типа тумблеров – ГОСТ 22615-77 «Система "Человек-машина". Выключатели и переключатели типа "Тумблер". Общие эргономические требования»; для кнопочных и клавищных выключателей и переключателей – ГОСТ 22614-77 «Система "Человек-машина". Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования»; для маховиков управления и штурвалов – ГОСТ 21752-76 «Система "Человек-машина". Маховики управления и штурвалы. Общие эргономические требования»; для рычагов управления – ГОСТ 21753-76 «Система "Человек-машина". Рычаги управления. Общие эргономические требования».

Органы управления и средства отображения сопроводительной информации размещают в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» и ГОСТ 12.2.033-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования», а обозначения функций органов управления – в соответствии с ГОСТ 12.4.040-78 «ССБТ. Органы управления производственным оборудованием. Обозначения» (СТ СЭВ 3082-81). Символы и надписи располагают в непосредственной близости от органов управления, при этом не должно возникать никаких помех их чтению. Надписи, кроме того, должны быть краткими и понятными при быстром считывании.

Вблизи запорных устройств (вентилей, кранов и др.) должны быть хорошо видны стрелки, указывающие направление вращения маховиков, кранов, а также надписи «**ОТКРЫТО**», «**ЗАКРЫТО**» или другие обозначения.

На пульте управления пневмоприводами необходимо применять следующую цветовую индикацию или световые сигналы: красный цвет – для обозначения аварийных и отключающих органов управления, а также для сигнальных элементов, извещающих о нарушении процесса нормального функционирования пневмопривода или условий безопасности; зеленый цвет – для сигнальных элементов, подтверждающих нормальное функционирование пневмопривода.

Для оповещения об аварийном состоянии пневмопривода можно использовать звуковую сигнализацию, применение которой предпочтительно в ситуациях, требующих немедленного реагирования.

В тех случаях, когда пневмопривод находится в помещении, где распознать звуковой сигнал трудно вследствие высокого уровня производственных шумов, рекомендуется дополнительно использовать яркий мигающий сигнал, цвет которого выбирают по ГОСТ 12.4.026-76 «ССБТ. Цвета сигнальные и знаки безопасности».

Пневматические приводы и устройства, в которых по характеру работы или в связи с воздействием окружающей среды возможен рост давления выше допустимого, должны снабжаться предохранительными клапанами, размещенными в доступных для их осмотра и обслуживания местах.

В любом случае началу эксплуатации пневмопривода должна предшествовать проверка настройки предохранительного клапана лицами, ответственными за соблюдение правил техники безопасности. Предохранительный клапан, в свою очередь, должен быть снажжен устройством, служащим для проверки исправности клапана путем его принудительного открытия в процессе функционирования привода.

Требования безопасности при подготовительных работах, монтаже и испытаниях. Монтаж пневматических приводов и устройств для проведения испытаний следует выполнять в соответствии с требованиями, изложенными в рабочих чертежах, инструкциях, методиках и программах испытаний. Руководство испытаниями поручают ответственному лицу, распоряжения которого являются обязательными для всех участников испытаний.

Обслуживание пневмоприводов при испытаниях можно поручать лицам, достигшим 18-летнего возраста, прошедшем производственное обучение и инструктаж по безопасному обслуживанию пневмосистем. Освещенность рабочих мест при испытаниях должна составлять не менее 50 лк. Источник света должен располагаться таким образом, чтобы не происходило ослепление рабочих. Шкалы приборов должны быть четко видны с расстояния до 3 м. Во всех случаях необходимо добиваться того, чтобы освещение обеспечивало удобство наблюдения за приборами.

Место испытаний должно быть ограждено, либо вблизи него должен находиться наблюдающий. В качестве ограждений можно применять щиты, барьеры, канаты с подвешенными к ним плакатами с надписью «ВНИМАНИЕ! ИДУТ ИСПЫТАНИЯ!» или световое табло с аналогичной надписью. На оборудовании, столах, механизмах, на полу возле испытательного стенда не должно быть посторонних предметов (заготовок, готовых изделий, отходов производства).

Запрещается оставлять инструменты, материалы, спецодежду и другие предметы на элементах, входящих в привод. Рабочие места должны быть оборудованы стеллажами для хранения приспособлений, инструментов, проверочных шаблонов, прокладок и т. п. Габариты подобных стеллажей должны соответствовать наибольшим размерам укладываемых на них изделий.

Перед испытаниями следует проверить рабочие инструменты на соответствие основным требованиям техники безопасности.

Электрифицированный инструмент можно применять лишь с рабочим напряжением не более 36 В и при условии полной исправности. В случае, если в производственном помещении отсутствуют факторы повышенной опасности, допускается использовать значения напряжения 127 и 220 В, но при обязательном использовании защитных средств. Корпуса электроинструментов, работающих под напряжением выше 36 В, должны быть заземлены вне зависимости от частоты тока.

Ручные инструменты, применяемые для электромонтажных работ (отвертки, плоскогубцы, кусачки и т. п.), должны иметь изолированные рукоятки.

Шланги необходимо крепить к пневмоинструменту и трубопроводам таким образом, чтобы исключить возможность их срыва.

Перед проведением испытаний проверяют готовность пневмопривода или устройства. С этой целью их тщательно осматривают и убеждаются в отсутствии трещин, надрывов, выпучин, раковин, следов коррозии и других дефектов на внутренних и внешних поверхностях устройств, в сварных швах, уплотнительных узлах и соединениях. Кроме того, перед началом испытаний пневмоприводов и устройств необходимо:

- 1) проверить правильность и надежность присоединений пневмоприводов и электрических проводов к соответствующим устройствам;
- 2) проверить надежность функционирования блокировок, наличие стопорения и пломб на регулирующей аппаратуре и приборах;
- 3) проверить наличие и исправность заземления;
- 4) проверить наличие и надежность закрепления ограждений, предусматриваемых требованиями безопасности;
- 5) вывесить предупреждающий плакат с надписью «ВНИМАНИЕ! ИДУТ ИСПЫТАНИЯ!»;
- 6) установить при необходимости аварийную сигнализацию (звуковую или световую).

Персонал, участвующий в испытаниях пневмоприводов и устройств, должен быть ознакомлен:

- 1) со схемой пневмопривода и правилами его обслуживания;
- 2) с конструкциями и принципами действия устройств, входящих в пневмопривод;
- 3) с расположением кондиционеров сжатого воздуха, пневмоаппаратов и приборов;
- 4) со способами регулирования параметров (давления, скорости и др.);
- 5) с методами проверки пневмоустройств на прочность и герметичность и правилами их осмотра при испытаниях.

Пневмоустройства должны быть испытаны на прочность. Входящие в состав пневмопривода пневмоустройства общепромышленного применения, на которые распространяются положения ГОСТ 12.3.001-85 (2000) (СТ СЭВ 3274-81) «ССБТ. Пневмоприводы. Общие требования безопасности к монтажу, испытаниям и эксплуатации», испытывают на прочность путем плавного повышения давления до пробного значения, которое должно превосходить номинальное не менее чем в 1,5 раза; для пневмоглушителей, установленных в местах выхлопа отработавшего воздуха, пробное значение давления должно быть не меньше номинального для пневмопривода. Длительность испытаний на прочность должна составлять не менее 3 мин. После этого давление постепенно снижают до номинального и затем производят осмотр пневмоустройства.

Проверяют пневмоустройство путем использования воздуха, минерального масла или воды. При испытаниях его закрывают защитным кожухом (экраном), либо проводящий их персонал должен находиться на

безопасном расстоянии от объекта испытаний, которое исключает возможность травмирования в случае разрушения последнего.

При типовых и периодических испытаниях на ресурс пневмоустройств и их элементов, функционирующих в условиях циклического нагружения давлением, их необходимо подвергать циклическому нагружению рабочим давлением в соответствии с требованиями и методикой разработчика.

Пневмоустройства или их элементы считаются выдержавшими испытания на прочность, если при последующем тщательном осмотре не были обнаружены: признаки разрыва; видимые остаточные деформации; утечки воздуха сверх уровня, установленного в нормативных требованиях; подтекание и потение в сварных швах при опрессовке жидкостью.

Испытания должны быть прерваны в следующих случаях: при повышении давления в системе сверх допустимого уровня; при неисправности предохранительных клапанов; при обнаружении в элементах пневмоустройств, выпучин, утоншений стенок, подтеканий в соединениях, разрывов уплотнений; при неисправности манометров, блокировочных устройств, а также при неисправности (отсутствии) предусмотренных схемой испытаний контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации; при появлении стуков, посторонних шумов; при заметном возрастании вибраций приводного механизма; при обнаружении других неисправностей, которые могут привести к аварийной ситуации.

После снижения уровня давления, достигнутого в ходе испытаний, до номинального (рабочего) значения пневмоустройства и привод в целом осматривают уполномоченные на то лица, прошедшие специальный инструктаж. В ходе осмотра запрещается повышать давление. При обнаружении дефектов во время испытаний работы по их устранению (монтаж и демонтаж пневмолиний, подтягивание соединений, рихтовка, сварочные работы и др.) следует выполнять после прекращения подачи воздуха, полного снятия давления в системе и ее отключения от питающей электросети, причем в местах отключения в обязательном порядке вывешиваются предупреждающие таблички с надписью «РЕМОНТ! ПУСК ЗАПРЕЩЕН!». Прекращение подачи воздуха путем перегибания эластичных трубопроводов не допускается! Все устройства в составе привода должны быть приведены в такое состояние, при котором их самопроизвольное включение при случайном нажатии пусковых элементов не приведет к опасным последствиям.

После устранения выявленных дефектов необходимо провести повторные испытания.

При повторном пуске следует принять меры безопасности, указанные выше, и проследить за тем, чтобы все ранее убранные ограждения и защитные приспособления были снова надлежащим образом размещены и закреплены. Испытания при снятых ограждениях допускаются только с разрешения администрации. Отключение оборудования и его подключение к электросети осуществляют после установки предохранительных устройств и также исключительно на основании разрешения администрации.

При испытаниях необходимо следить за тем, чтобы выхлоп отработавшего воздуха был направлен в сторону от места нахождения оператора и не приводил к загрязнению рабочего помещения. Уровень шума при выхлопах не должен нарушать гигиенических норм.

Требования безопасности при эксплуатации. Перед вводом в эксплуатацию пневмоприводов и пневмоустройств необходимо провести их пробный пуск и наладку. В случае обнаружения неисправностей во время пробного пуска пневмопривод следует отключить. Работы по устранению выявленных неисправностей и ремонту пневматических приводов и устройств необходимо выполнять только после полного снятия давления воздуха в системе и отключения их от электросети. Вентили и пневмораспределители, отвечающие за соединение пневмолинии с пневмоприводом, должны находиться в исправном состоянии и обеспечивать возможность надежного и быстрого перекрытия подачи сжатого воздуха и его сброс из привода в атмосферу.

Подключать отремонтированный пневмопривод к пневмолинии и электросети следует после установки ограждений и снятия предупреждающих плакатов.

Эксплуатация пневмоприводов и пневмоустройств запрещается в случаях возникновения следующих неисправностей:

- наличия шумов, стуков, вибраций и наружных утечек, уровень которых превышает значения, устанавливаемые нормативно-технической документацией;
- появления видимых повреждений или выхода какого-либо параметра за пределы допустимых значений, если подобная ситуация представляет опасность для обслуживающего персонала или может привести к аварии;
- отказа или повреждения сигнальных устройств и приборов.

Очищать воздухопроводы и пневмоустройства в местах скопления загрязнителей необходимо способами, при которых исключается воспламенение имеющихся отложений.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается техническое обслуживание пневматических приводов?
2. Как найти и устранить неисправность пневматической сети?
3. Какие требования безопасности применяются при эксплуатации пневмосети?

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Пневматические устройства и системы в машиностроении. Справочник. / под ред. Е. В. Герц. – М.: Машиностроение, 1981. – 408 с.
2. Герц Е. В. Расчет пневмоприводов: справочное пособие / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин. – М. : Машиностроение, 1975. – 272 с.
3. Слюсарев А. Н. Гидравлические и пневматические элементы и приводы промышленных роботов / А. Н. Слюсарев. – М. : Машиностроение, 1989. – 168с.
4. Трифонов О. Н. Приводы автоматизированного оборудования: учебник для машиностроительных техникумов / О. Н. Трифонов, В. И. Иванов, Г. О. Трифонова. – М. :Машиностроение, 1991. – 336 с.
5. Никитин О. Ф. Объемные гидравлические и пневматические приводы: учеб. пособие для техникумов / О. Ф. Никитин, К. М. Холин. – М. : Машиностроение, 1981. – 269 с.
6. Наземцев А. С. Пневматические приводы и средства автоматизации: учебное пособие / А. С. Наземцев. – М. : Форум, 2004. – 240 с.
7. Филипов И. Б. Тормозные устройства пневмоприводов / И. Б. Филипов. – Л. : Машиностроение, 1987. – 143 с.
8. Кудрявцев А. И. Монтаж, наладка и эксплуатация пневматических приводов и устройств/ А. И. Кудрявцев, А. П. Пятидверный, Е. А. Рагулин. – М. : Машиностроение, 1990. – 208 с.
9. Робототехника и гибкие автоматизированные производства: в 9 книгах. Кн. 2. Приводы робототехнических систем: уч. пособие для втузов / под ред. И. М. Макарова. – М. : ВШ, 1986. – 175 с.
10. Гидравлические и пневматические приводы ПР и автоматических манипуляторов / под ред. Г. В. Крейнина. – М. : Машиностроение, 1993. – 308 с.
11. Герц Е. В. Динамика пневматических систем машин / Е. В. Герц. – М. : Машиностроение, 1985. – 256 с.

**Приложение А**  
(обязательное)

**Таблица А.1 – Соотношение единиц величин, применяемых в пневматике, с единицами Международной системы СИ (SI, SYSTEM INTERNATIONAL OF UNITS)**

Величина		Единица		Примечание
Название	Обозначение	Обозначение	Название	
1	2	3	4	5
<b>Основные единицы системы СИ</b>				
Масса	$m$	$\text{кг}$	килограмм	—
Длина	$s, l, L$	$m$	метр	—
Время	$\tau$	$s$	секунда	—
Температура термодинамическая	$T$	$K$	kelvin	Связь между различными температурными шкалами показана в табл. Б.2
<b>Дополнительные единицы системы СИ</b>				
Плоский угол	$\alpha, \beta, \varphi, \psi$ и др.	$\text{рад}$	радиан	—
<b>Производные единицы, применяемые в пневматике</b>				
Диаметр	$d, D$	$m$	метр	—
Радиус	$r, R$			$r = 0,5D$
Площадь	$S, F, f$	$m^2$	квадратный метр	—
Объем	$V$	$m^3$	кубический метр	—
Объем нормальный	$V_n, V$			Объем воздуха, приведенного к техническим нормальным условиям
Расход массовый	$\dot{m}$	$\text{кг}/\text{s}$	килограмм в секунду	—
Расход объемный	$\dot{V}$	$m^3/\text{s}$	кубический метр в секунду	$\dot{V} = \dot{m} / \rho$
Расход объемный нормальный	$\dot{V}_n$			Объемный расход воздуха, приведенного к техническим нормальным условиям
Пропускная способность (расходная характеристика)	$K_v$	$m^3/\text{ч}$	кубический метр в час	Внесистемная единица
Плотность	$\rho$	$\text{кг}/m^3$	килограмм на кубический метр	—
Удельный объем	$v$	$m^3/\text{кг}$	кубический метр на килограмм	$v = 1/\rho$
Молярная масса	$M$	$\text{кг}/\text{кмоль}$	килограмм на киломоль	—
Абсолютная влажность	$f, f_{abs}$	$\text{кг}/m^3$	килограмм на кубический метр	Обычно выражается в граммах на кубический метр
Относительная влажность	$\varphi$	—	—	Измеряется в относительных единицах (или процентах)
Частота периодического колебания	$f, v$	$\text{Гц}$	герц	—

Продолжение табл. А.1

1	2	3	4	5
Частота импульсов, ударов и т. п., частота вращения	$n, f$	$c^{-1}, Гц$	секунда в минус первой степени, герц	$1 c^{-1} = 1 Гц$
		$об/c$	оборот в секунду	$1 об/c = 1 c^{-1}$
		$об/мин$	оборот в минуту	Внесистемная единица $1 об/мин = 60 c^{-1}$
Частота угловая (круговая или циклическая)	$\omega$	$c^{-1}$	секунда в минус первой степени	—
Скорость линейная	$v, w$	$m/c$	метр в секунду	—
Скорость угловая	$\omega, n$	$рад/c$	радиан в секунду	—
		$об/c$	оборот в секунду	$1 об/c = 2\pi rad/c$
		$об/мин$	оборот в минуту	Внесистемная единица $1 об/мин = 2\pi rad/c$
Ускорение линейное	$a$	$m/c^2$	метр на секунду в квадрате	—
Ускорение свободного падения	$g$			$g = 9,81 m/c^2$
Ускорение угловое	$\varepsilon$	$рад/c^2$	радиан на секунду в квадрате	—
Импульс (количество движения)	$P$	$кг\cdot м/c$	килограмм-метр в секунду	—
Динамический момент инерции	$J, I$	$кг\cdot м^2$	килограмм-метр в квадрате	—
Сила (усилие)	$F, P$	$H$	ньютон	$1 H = 1 кг\cdot м/c^2$
Сила тяжести	$G, P$			
Момент силы, изгибающий момент	$M$	$H\cdot m$	ニュ顿-метр	—
Момент пары сил, крутящий (вращающий) момент	$M, T$			—
Давление	$p$	$Па$	паскаль	$Па = H/m^2$
Объемный модуль упругости (модуль сжимаемости)	$K$			
Коэффициент объемного сжатия	$\beta_p$	$Па^{-1}$	паскаль в минус первой степени	$\beta_p = 1/K$

Продолжение табл. А.1

1	2	3	4	5
Динамическая вязкость (коэффициент внутреннего трения)	$\mu$	$\text{Па}\cdot\text{с}$	паскаль-секунда	—
Кинематическая вязкость	$\nu$	$\text{м}^2/\text{с}$	квадратный метр на секунду	$\nu = \mu/\rho$
Коэффициент трения	$\mu_f$	—	—	Безразмерная величина
Коэффициент расхода	$\varphi$	—	—	Безразмерная величина
Работа	$A, L$	$\text{Дж}$	дюбуль	—
Энергия	$E, W$			—
Кинетическая энергия	$E_k, W_k, K, T$			—
Потенциальная энергия	$E_p, W_p, \Pi, \Phi$			—
Тепловая энергия	$Q$			—
Внутренняя энергия	$U$			—
Мощность	$P, N$	$\text{Вт}$	ватт	—
Коэффициент полезного действия (КПД)	$\eta$	—	—	Безразмерная величина
Удельная газовая постоянная	$R$	$\text{Дж}/(\text{кг}\text{ К})$	дюбуль на килограмм-kelвин	—

Таблица А.2 – Приставки для наименования дольных и кратных единиц

Дольные единицы			Кратные единицы		
Степень	Приставка	Символ	Степень	Приставка	Символ
$10^{-1}$	Деци	$d$	$10^1$	дека	$D$
$10^{-2}$	Санти	$c$	$10^2$	гекто	$G$
$10^{-3}$	Милли	$m$	$10^3$	кило	$K$
$10^{-6}$	Микро	$\mu$	$10^6$	мега	$M$
$10^{-9}$	Нано	$n$	$10^9$	гига	$G$
$10^{-12}$	Пико	$p$	$10^{12}$	тера	$T$
$10^{-15}$	Фемто	$f$	$10^{15}$	пета	$P$
$10^{-18}$	Атто	$a$	$10^{18}$	экса	$E$

**Приложение Б**  
(обязательное)

**Таблица Б.1 – Соотношения между различными единицами давления и температурными шкалами**

Единица	<i>Па</i>	<i>бар</i>	<i>psi</i>	<i>кгс/см<sup>2</sup></i>	<i>мм вод. ст.</i>	<i>мм рт. ст.</i>
1 <i>Па</i>	1	$10^{-5}$	$1,45 \times 10^{-4}$	$1,02 \times 10^{-5}$	0,102	$7,502 \times 10^{-3}$
1 <i>бар</i>	$10^5$	1	14,5	1,02	$1,02 \times 10^4$	$7,5024 \times 10^2$
1 <i>psi</i>	$6,895 \times 10^{-3}$	$6,895 \times 10^{-2}$	1	$7,031 \times 10^{-2}$	$7,031 \times 10^2$	52,2
1 <i>кгс/см<sup>2</sup></i>	$9,807 \times 10^{-4}$	0,9807	14,223	1	$10^{-4}$	$7,35 \times 10^2$
1 <i>мм вод. ст.</i>	9,807	$9,807 \times 10^{-5}$	$1,422 \times 10^{-3}$	$10^{-4}$	1	$7,35 \times 10^{-2}$
1 <i>мм рт. ст.</i>	$1,33 \times 10^2$	$1,33 \times 10^{-3}$	$1,934 \times 10^{-2}$	$1,36 \times 10^{-3}$	13,6	1

**Таблица Б.2 – Формулы, связывающие различные температурные шкалы**

Шкала	Кельвина	Цельсия	Фаренгейта	Реомюра
Кельвина, $T [K]$	1	$t, ^\circ C + 273,15$	$(t, ^\circ F - 32)/1,8 + 273,15$	$1,25 \cdot t, ^\circ R + 273,15$
Цельсия, $t, ^\circ C$	$T - 273,15$	1	$(t, ^\circ F - 32)/1,8$	$1,25 \cdot t, ^\circ R$
Фаренгейта, $t, ^\circ F$	$1,8 \cdot T - 459,67$	$1,8 \cdot t, ^\circ C + 32$	1	$2,25 \cdot t, ^\circ R + 32$
Реомюра, $t, ^\circ R$	$0,8 \cdot T - 218,52$	$0,8 \cdot t, ^\circ C$	$0,44 \cdot (t, ^\circ F - 32)$	1

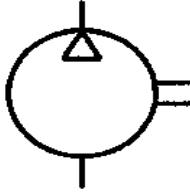
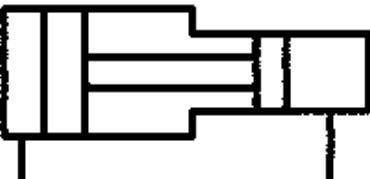
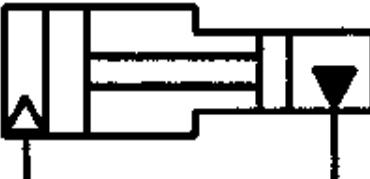
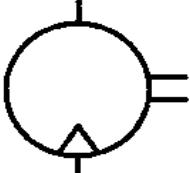
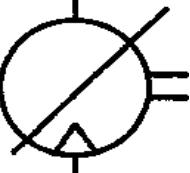
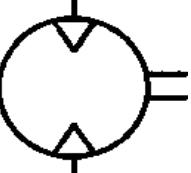
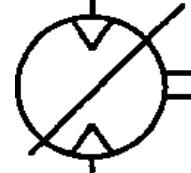
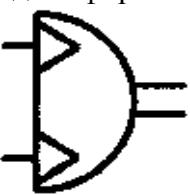
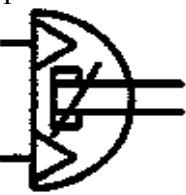
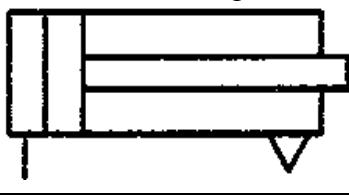
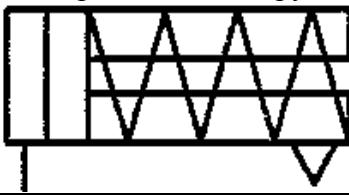
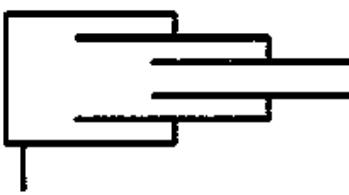
**Приложение В**  
(обязательное)

**Таблица В.1 – Извлечения из ГОСТ 17433-86 «Промышленная чистота. Сжатый воздух. Классы загрязненности»**

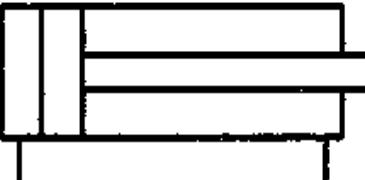
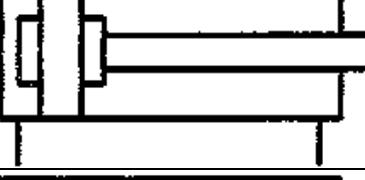
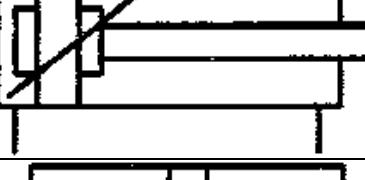
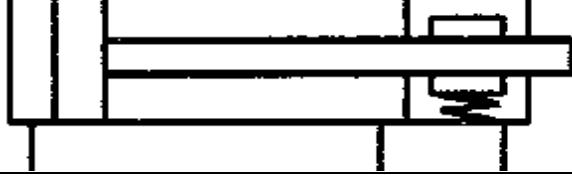
Класс загрязненности	Размер твердой частицы, мкм, не более	Содержание посторонних примесей, мг/м <sup>3</sup> , не более		
		Твердые частицы	Вода (в жидкком состоянии)	Масла (в жидкком состоянии)
0	0,5	0,001		
1				Не допускается
2	5	1	500	Не допускается
3				Не допускается
4	10	2	800	16
5				Не допускается
6	25	2	800	16
7				Не допускается
8	40	4	800	16
9				Не допускается
10	80	4	800	16
11				Не допускается
12		12,5	3200	25
13	Не регламентируется			Не допускается
14		25	10000	100

**Приложение Г**  
(обязательное)

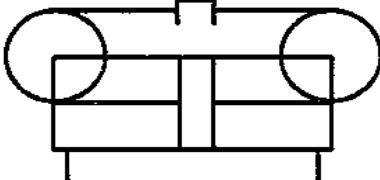
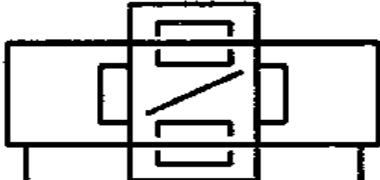
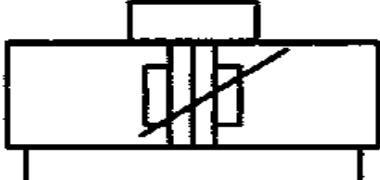
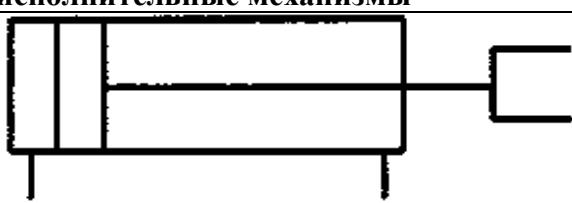
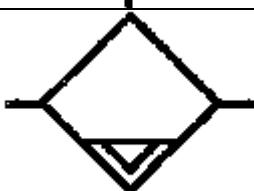
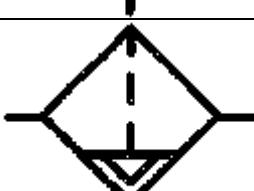
**Таблица Г.1 – Условные графические обозначения на пневматических схемах  
(ISO 1219, ГОСТ 2.781-96, ГОСТ 2.782-96)**

<b>Преобразователи энергии</b>			
Компрессор	Поступательный преобразователь с одним видом рабочей среды	Поступательный преобразователь с двумя видами рабочей среды	
			
<b>Исполнительные механизмы</b>			
<b>Пневмомоторы</b>			
Нереверсивный нерегулируемый	Нереверсивный регулируемый	Реверсивный нерегулируемый	Реверсивный регулируемый
			
<b>Поворотные пневмодвигатели</b>			
Без демпфирования		С демпфированием в конце хода	
			
<b>Пневмоцилиндры одностороннего действия</b>			
Без указания способа возврата штока		С возвратом штока пружиной	
			
С выдвижением штока пружиной		Телескопический	
			

Продолжение табл. Г.1

<b>Пневмоцилиндры двустороннего действия</b>	
Общее обозначение	
С постоянным магнитом на поршне	
С нерегулируемым торможением в конце хода	
С регулируемым торможением в конце хода	
С проходным штоком	
С проходным полым штоком	
Телескопический	
Тандем	
С пневмоприводным фиксатором штока	

Продолжение табл. Г.1

С гибким штоком	
Бесштоковый с магнитной муфтой	
Бесштоковый с ленточным уплотнителем	
<b>Специальные исполнительные механизмы</b>	
Захват промышленного робота	
Вакуумный захват	
<b>Устройства подготовки сжатого воздуха</b>	
Фильтр	
Влагоотделитель с ручным отводом конденсата	
Влагоотделитель с автоматическим отводом конденсата	
Фильтр- влагоотделитель	

Продолжение табл. Г.1

Осушитель	
Охладитель	
Нагреватель	
Маслораспылитель	
<b>Блок подготовки воздуха</b>	
Детальное обозначение	
Упрощенное обозначение	
Ресивер	
<b>Контрольно-измерительные устройства</b>	
Манометр	
Термометр	

Продолжение табл. Г.1

Указатель (индикатор) давления	
Указатель расхода	
Расходометр	
<b>Счетчики импульсов</b>	
С ручной установкой нуля и с пневматическим входным сигналом  нестандартизованные обозначения: с ручной установкой нуля с пневматической установкой нуля и с пневматическим входным сигналом	
Реле давления	
<b>Пневматические распределители</b>	
Нормально закрытый 2/2-распределитель	
Нормально открытый 2/2- распределитель	

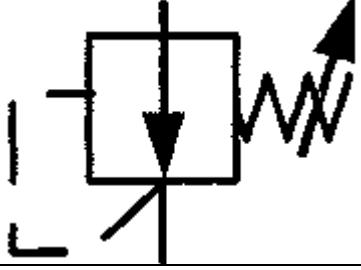
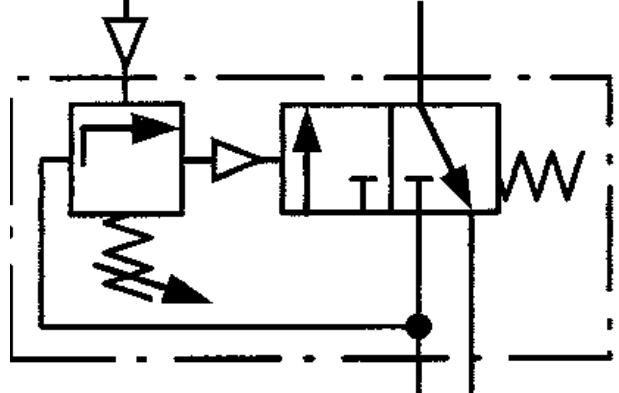
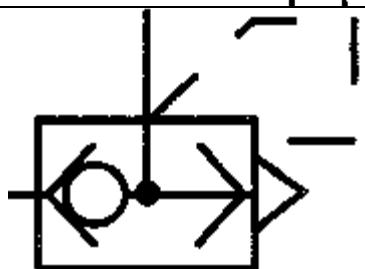
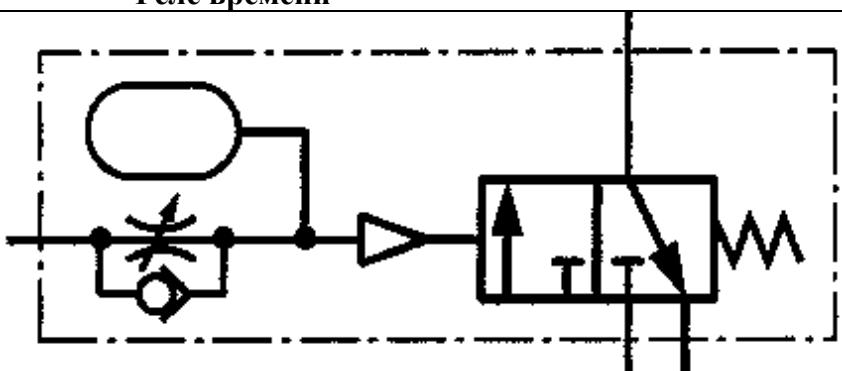
Продолжение табл. Г.1

Нормально закрытый 3/2-распределитель	
Нормально открытый 3/2- распределитель	
4/2- распределитель	
5/2- распределитель	
3/3- распределитель	
4/3- распределитель	
5/3- распределитель	
Дроселирующий распределитель	

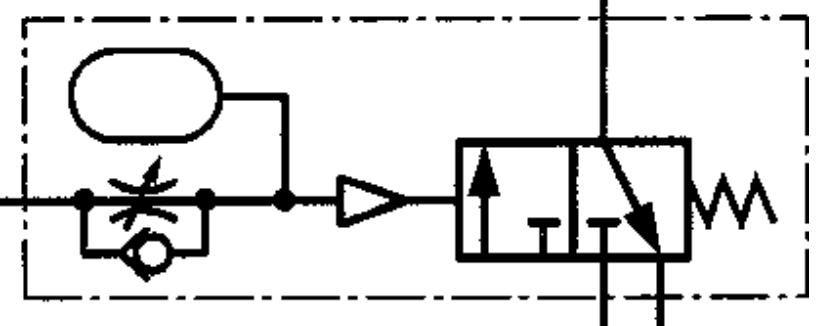
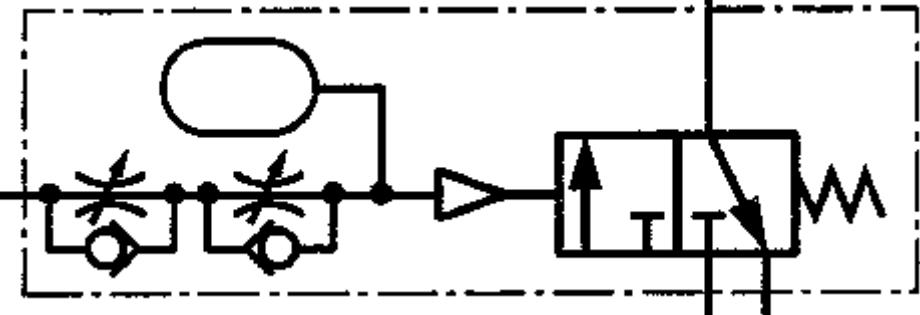
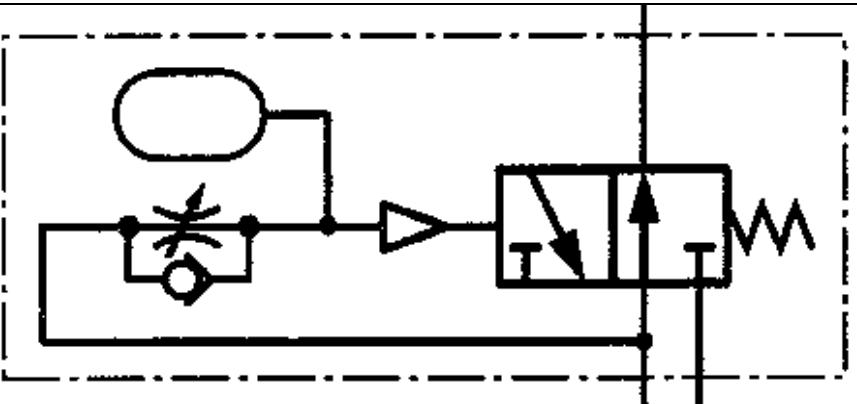
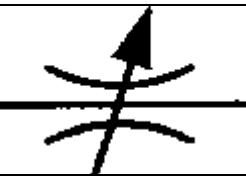
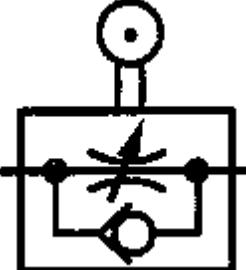
Продолжение табл. Г.1

<b>Пневматические клапаны</b>	
Обратные	
Без пружины	
С пружиной	
<b>Пневмозамки</b>	
С управлением открытием	
С управлением закрытием	
<b>Логические реле</b>	
«ИЛИ»	
«И»	
<b>Клапаны давления</b>	
Предохранительный	

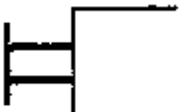
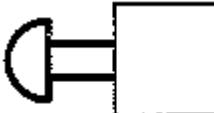
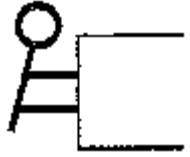
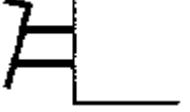
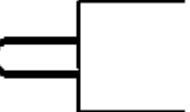
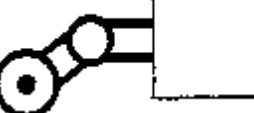
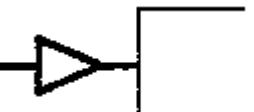
Продолжение табл. Г.1

Редукционный двухлинейный	
Редукционный трехлинейный	
<b>Реле последовательности</b>	
Вариант 1	
Вариант 2	
Быстрого выхлопа	
<b>Реле времени</b>	
С задержкой по переднему фронту	

Продолжение табл. Г.1

С задержкой по заднему фронту	
С задержкой по переднему и заднему фронтам	
Формирователь импульса	
<b>Устройства регулирования расхода</b>	
Дроссели	
Нерегулируемый	
Регулируемый	
С обратным клапаном	
Путевой	

Продолжение табл. Г.1

Выхлопной	
<b>Устройства управления пневмоаппаратами</b>	
Управление мускульной силой	
Без уточнения типа	
Кнопка	
Рычаг	
Педаль	
Поворотная рукоятка	
Механическое управление	
Толкатель (кулачок)	
Ролик	
Ролик с «ломающимся» рычагом	
Пружина	
Фиксатор	
Пневматическое управление	
Прямое нагружением	

Продолжение табл. Г.1

Прямое разгружением	
Непрямое нагружением	
За счет разности площадей	
Электрическое управление	
Электромагнит с одной обмоткой	
Электромагнит с двумя встречными обмотками	
Электромагнит с пропорциональным управлением	
Шаговый электродвигатель	
Комбинированное управление	
Электромагнитное И непрямое пневматическое	
Электромагнитное ИЛИ непрямое пневматическое	
Непрямое пневматическое с ручным дублированием	
Электромагнит и пружина	
Элементы трубопроводов	
Заборник воздуха из атмосферы	
Место присоединения к источнику сжатого воздуха	

Продолжение табл. Г.1

Линии всасывания, напора, слива	
Линии управления, отвода конденсата	
Соединение трубопроводов	
Пересечение трубопроводов без соединения	
Трубопровод гибкий, шланг	
Место присоединения несоединенное	
Место присоединения соединенное	
Общее обозначение разъемного соединения	
Штуцерное резьбовое соединение	
Быстроразъемное соединение без запорного элемента соединенное	
Быстроразъемное соединение без запорного элемента несоединенное	
Быстроразъемное соединение с запорным элементом соединенное	
Быстроразъемное соединение с запорным элементом разъединенное	
Вентиль	

Продолжение табл. Г.1

Вентиль с пневмоприводом	
Выхлоп без возможности присоединения	
Выхлоп с возможностью присоединения	
Пневмоглушитель	
Струйные датчики положения и усилители сигнала (нестандартизованные обозначения)	
Датчик подпора	
Вилкообразный воздушный барьер	
С кольцевым соплом	
Со встречным соударением струй	
Однокаскадный усилитель	
Двухкаскадный усилитель	

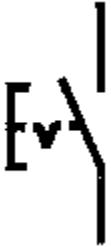
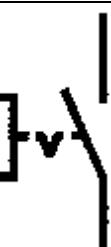
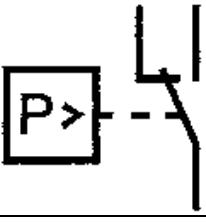
**Таблица Г.2 – Маркировка присоединительных отверстий пневмоустройств**

Тип отверстия пневмоустройства	Буквенная маркировка	Численная маркировка
Основное входное отверстие (подвод питания)	P	1
Выходные отверстия (подача рабочей среды)	A, B, C,...	2, 4, 6,...
Выхлопные отверстия	R, S, T,...	3, 5, 7,...
Отверстия каналов управления	X, Y, Z,...	10, 12, 14,...

**Таблица Г.3 – Условные графические обозначения на электрических схемах  
(ISO 1219, ГОСТ 2.755-87, ГОСТ 2.756-76)**

Типы контактов	Обозначение
1	2
Размыкающий	
Замыкающий	
Переключающий	
<b>Контакты электротехнических устройств</b>	
Замыкающий контакт кнопочного выключателя (общее обозначение)	
Замыкающий контакт кнопочного выключателя, приводимого в действие нажатием кнопки	

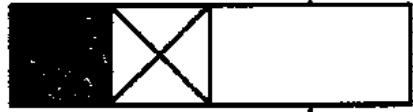
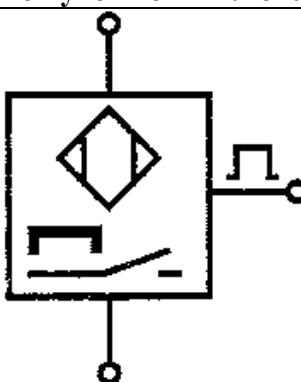
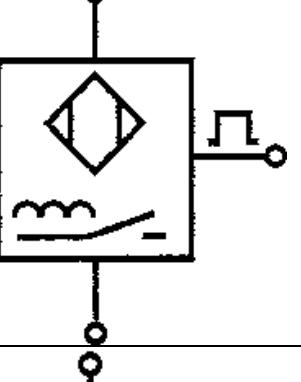
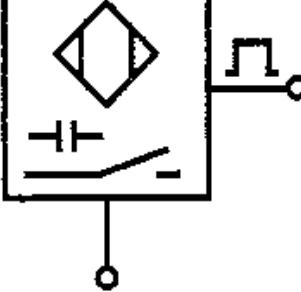
Продолжение табл. Г.3

1	2
Замыкающий контакт кнопочного выключателя с механизмом фиксации положения	
Замыкающий контакт кнопочного выключателя, приводимого в действие вытягиванием кнопки	
Замыкающий контакт кнопочного выключателя, приводимого в действие путем поворота	
Переключающийся контакт путевого выключателя	
Переключающийся контакт путевого выключателя с управляемым воздействием от толкателя с «ломающимся» рычагом	
Переключающийся контакт путевого выключателя, активизированный в исходном состоянии контролируемым объектом	
Переключающийся контакт реле давления	

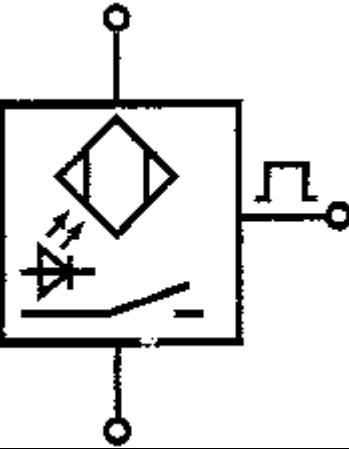
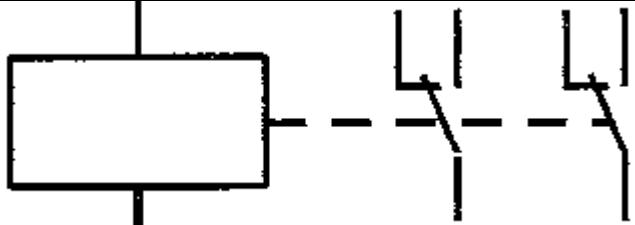
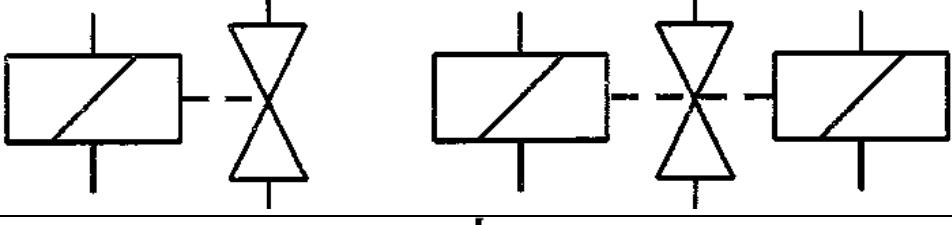
Продолжение табл. Г.3

1	2
Замыкающий и размыкающий контакты реле времени с замедлением при срабатывании	
Замыкающий и размыкающий контакты реле времени с замедлением при возврате	
Замыкающий и размыкающий контакты реле времени с замедлением при срабатывании и возврате	
<b>Воспринимающая часть электромеханических устройств</b>	
Катушка	
Катушка с одной обмоткой	
Катушка с двумя встречными обмотками	

Продолжение табл. Г.3

1	2
Катушка устройства с замедлением при срабатывании (например, реле времени)	
Катушка устройства с замедлением при отпускании	
Катушка устройства с замедлением при срабатывании и отпусканье	
<b>Бесконтактные путевые выключатели</b>	
Геркон	
Индуктивный	
Емкостной	

Продолжение табл. Г.3

1	2
Оптический	
Реле	
Электропневматический преобразователь (пневматический распределитель с электромагнитным управлением)	
Световой индикатор	

Навчальне видання

**Прокопов Максим Геннадійович,  
Ванесв Сергій Михайлович,  
Козін Віктор Миколайович**

# **КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ПНЕВМОАГРЕГАТИВ**

Навчальний посібник  
(Російською мовою)

Художнє оформлення обкладинки М. Г. Прокопова  
Редактор Н. В. Лисогуб  
Комп'ютерне верстання М. Г. Прокопова, В. М. Козіна

Формат 60x84/8. Ум. друк. арк. 17,21. Обл.-вид. арк. 10,7. Тираж 300 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.