

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

ПНЕВМОПРИВОД И СРЕДСТВА АВТОМАТИКИ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

САМАРА
Издательство СГАУ
2006

УДК 62-85 (075)
ББК 34.445



**Инновационная образовательная программа
"Развитие центра компетенции и подготовка
специалистов мирового уровня в области аэро-
космических и геоинформационных технологий"**

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В. И. Санчугов
д-р техн. наук, проф. В.Н. Матвеев

Шахматов Е. В.

П 408 **Пневмопривод и средства автоматики:** учеб. пособие / *Н.Д. Быстров, А.А. Иголкин, В.Н. Илюхин, С.А. Петренко, Е.В.Шахматов* – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 112 с. : ил.

ISBN 5-7883-0439-3

Рассмотрен состав пневматических приводов. Дано описание подсистем, составляющих пневматическую систему автоматического управления. Изложены методы расчёта элементов пневматических приводов. Полученные теоретические знания закрепляются лабораторной работой, представленной в приложении.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 150802 «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика», 160301 «Авиационные двигатели и энергетические установки», 160302 Ракетные двигатели, 160901 "Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей".

УДК 62.82
ББК 34.445

ISBN 5-7883-0439-3

© Быстров Н.Д., Иголкин А.А., Илюхин В.Н.,
Петренко С.А., Шахматов Е.В., 2006
© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	6
1. Структура пневматических приводов	10
1.1 Основные определения	10
1.2 Примеры пневматических приводов	13
1.3 Состав пневматического привода	21
1.4 Требования, предъявляемые к пневмоприводам	24
2. Подсистема подготовки сжатого воздуха	26
2.1 Компрессоры	27
2.1.1 Объемные компрессоры	28
2.1.2 Динамические компрессоры	33
2.2 Устройство очистки и осушки сжатого воздуха	36
2.3 Ресиверы	44
2.4 Блоки подготовки воздуха	44
3. Исполнительная подсистема	46
3.1 Пневматические моторы	47
3.2 Пневмодвигатели вращательного действия	49
3.3 Шестеренные пневмомоторы	52
3.4 Радиально-поршневые пневмомоторы	53
3.5 Турбинные пневмомоторы	54
3.6 Поворотные пневматические двигатели	55
3.7 Пневматические цилиндры	56
3.7.1 Пневмоцилиндры одностороннего действия	57
3.7.2 Пневмоцилиндры двустороннего действия	59
3.8 Специальные пневматические исполнительные устройства	60

4. Регулирующая подсистема	62
4.1 Пневматические распределители	64
4.2 Запорные элементы	69
4.3 Устройства регулирования расхода	73
4.4 Устройства регулирования давления	75
Приложение 1. Автоматизация процесса перемещения деталей с помощью двух пневмоцилиндров. Краткое введение в систему <i>Fluid SIM</i>	92
Приложение 2. Выбор пневмораспределителей	98
Приложение 3. Расчет динамических характеристик двустороннего привода	104
Контрольные вопросы	110
Библиографический список	111

ПРЕДИСЛОВИЕ

Организация и становление специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» в Самарском государственном аэрокосмическом университете поставили на повестку дня необходимость создания современного методического обеспечения. Не секрет, что за последние 1,5 – 2 десятка лет учебники технического плана выходили из печати довольно редко. Учебники и монографии по пневмоавтоматике, написанные до этого периода, частично устарели или превратились в библиографические редкости. Поэтому данное учебное пособие является средством преодоления трудностей, о которых сказано выше.

Авторами проведена большая работа по поиску материала, его привязке к задачам сегодняшнего дня.

В методическом плане учебное пособие дает ясное представление студентам о роли и месте пневмоавтоматики в технике автоматического управления и регулирования, применяемых в самых разнообразных сферах жизни. Помимо этого, студенты научатся читать и составлять пневмосхемы автоматических систем и подбирать комплектующие элементы для их последующей реализации.

В учебном пособии приведены примеры практического применения устройств пневмоавтоматики для решения механизации погрузо – разгрузочных работ, дается инженерный пример расчета характеристик дросселирующего элемента и выбора характеристик пневмопривода.

Сведения о средствах электро – пневмоавтоматики не вошли в данное пособие, поскольку предполагается подготовка второй части, посвященной этой проблеме.

Роль данного учебного пособия многократно возрастает в связи с тем, что впервые в образовательной практике нашей страны начата подготовка специалистов по пневмо- и гидроавтоматике в г. Самаре, городе славных инженеров, традиций и достижений в области создания авиационной и аэрокосмической техники.

ВВЕДЕНИЕ

Любой объект, в котором используется газообразное вещество, можно отнести к *газовым системам*. Поскольку наиболее доступным газом является воздух, состоящий из смеси множества газов, то его широкое применение для выполнения различных процессов обусловлено самой природой. В переводе с греческого *pneumatikos* - воздушный, чем и объясняется этимологическое происхождение названия *пневматические системы*. В технической литературе часто используется более краткий термин - *пневматика*.

Пневматические системы широко используются во многих технических устройствах и аппаратах: в паровоздушных молотах и воздушных выключателях высокого напряжения, системы надува и кондиционирования в авиационной и ракетно – космической технике. Пневматические приводы получили широкое применение при автоматизации производственных процессов в аэрокосмической и автомобильной промышленности, в общем машиностроении и станкостроении, в транспортном и полиграфическом машиностроении, в литейном и кузнечном производстве, работающих в агрессивных средах, в условиях пожаро - и взрывоопасности, радиации, а также при значительной вибрации и высоких температурах, в нефтяной, газовой, химической промышленности, в горном деле, в строительстве, в медицинских приборах (для искусственного дыхания, кровообращения, инъекций и т.д.)

Независимо от вида технического устройства или типа аппарата пневматические системы имеют много общего. Они состоят из емкостей, трубопроводов, агрегатов автоматики и насосов, конструкции которых во многом сходны и отличаются лишь в

связи с конкретными требованиями, предъявляемыми к той или иной системе.

Системой называют совокупность взаимосвязанных объектов, объединенных единой цепью и общим алгоритмом функционирования. В зависимости от функционального назначения пневмосистемы делят на системы управления – системы, которые используются для управления различными машинами, станками, аппаратами, и системы, обеспечивающие рабочий процесс в этих объектах (системы охлаждения, тепло- и газоснабжения и т.п.).

Область и масштабы применения пневматического привода обусловлены его достоинствами и недостатками, вытекающими из особенностей свойств воздуха (см. таблицу В.1). Достоинства пневмопривода в сравнении с его конкурентами - гидро- и электроприводом следующие:

- надежность функционирования;
- простота конструкций;
- сравнительная легкость их эксплуатации и обслуживания;
- возможность воспроизведения движения без каких-либо передаточных механизмов (в отличие от электрических);
- малые габариты пневмоустройств вращательного движения (по сравнению с электромоторами);
- нечувствительность к длительным перегрузкам;
- простота регулирования скорости вращения и крутящего момента;
- большие скорости срабатывания (по сравнению с гидроприводами);
- возвратные линии значительно короче, чем в гидроприводе, так как воздух может быть удален в атмосферу из любой точки системы;
- наличие неограниченного запаса воздуха в качестве рабочего тела.

Таблица В.1 - Сравнение приводов по виду используемой энергии

Критерий	Электроприводы	Гидроприводы	Пнеumoприводы
КПД, %	≈90	≈70	≈5-15
Передача энергии	На неограниченное расстояние со скоростью света $c \approx 300\,000$ км/с	На расстоянии до 100 м, скорость – до 6 м/с, передача сигналов – до 100 м/с	На расстоянии до 1000 м, скорость – до 40 м/с, передача сигналов – до 40 м/с
Накопление энергии	Затруднено	Ограничено	Легко осуществимо
Линейное перемещение	Затруднительно, дорого, малые усилия	Просто, большие усилия, хорошее регулирование скорости	Просто, небольшие усилия, скорость зависит от нагрузки
Вращательное движение	Просто, высокая мощность	Просто, высокий крутящий момент, невысокая частота вращения	Просто, невысокий крутящий момент, высокая частота вращения
Рабочая скорость исполнительного механизма	Зависит от конкретных условий	До 0,5 м/с	1,5 м/с и выше
Усилия	Большие усилия, не допускаются перегрузки	Усилия до 3000 кН, защищены от перегрузок	Усилия до 30 кН, защищены от перегрузок
Точность позиционирования	± 1 мкм и выше	До ± 1 мкм	До 0,1 мм
Жесткость	Высокая (используются механические промежуточные элементы)	Высокая (гидравлические масла практически несжимаемы)	Низкая (воздух сжимаем)
Утечки	Нет	Создают загрязнения	Нет вреда, кроме потерь энергии
Влияние окружающей среды	Нечувствительны к изменениям температуры	Чувствительны к изменениям температуры, пожароопасны при наличии утечек	Практически нечувствительны к колебаниям температуры, взрывобезопасны

Основные недостатки:

- меньшая скорость срабатывания (по сравнению с электрическими системами);
- работа сопровождается большим шумом (по сравнению с электрическими системами);
- меньшие усилия (по сравнению с гидравлическими);
- сложность выполнения заданных законов движения (по сравнению с механическими).
- неизбежные утечки воздуха из системы значительно понижают к.п.д. пневмоустройств.

Таким образом, пневмоустройства следует применять в тех случаях, когда требуется обеспечить высокие скорости движения рабочего органа при относительно небольших рабочих усилиях.

В настоящее время намечается следующая тенденция в применении приводов и автоматизированных систем управления в машиностроении: в качестве силовых систем применяют гидравлические, несколько реже – пневматические, а для целей управления все чаще используют пневмосистемы, если их быстродействие удовлетворяет поставленным требованиям. В противном случае применяют электрические системы.

У истоков теории пневматических систем стоял И.И. Артоболевский. Он был руководителем Института машиноведения в Ленинграде. Одной из первых работ по теории пневмосистем была статья А.П. Германа "Применение сжатого воздуха в горном деле", опубликованная в 1933г., где впервые движение рабочего органа пневмоустройства решается совместно с термодинамическим уравнением состояния параметров воздуха.

Значительный вклад в теорию и практику пневмоприводов внесли ученые Б.Н.Бежанов, К.С.Борисенко, И.А.Бухарин, А.И.Вошинин, Е.В.Герц, Г.В.Крейнин, А.И.Кудрявцев, В.А.Марутов, В.И.Мостков, Ю.А.Цейтлин, А.С.Наземцев и другие.

1 СТРУКТУРА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

1.1 ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Пневматическим устройством называют устройство, в котором используются физические свойства сжатого воздуха (в общем случае - газа) как энергоносителя.

Пневмопривод – это комплекс (совокупность) устройств, предназначенных для приведения в движение машин и механизмов посредством пневматической энергии, т.е. энергии сжатого газа. Пневмопривод делится на магистральный, аккумуляторный и компрессорный [6]. Структурные схемы пневмопривода приведены на рисунке 1.1

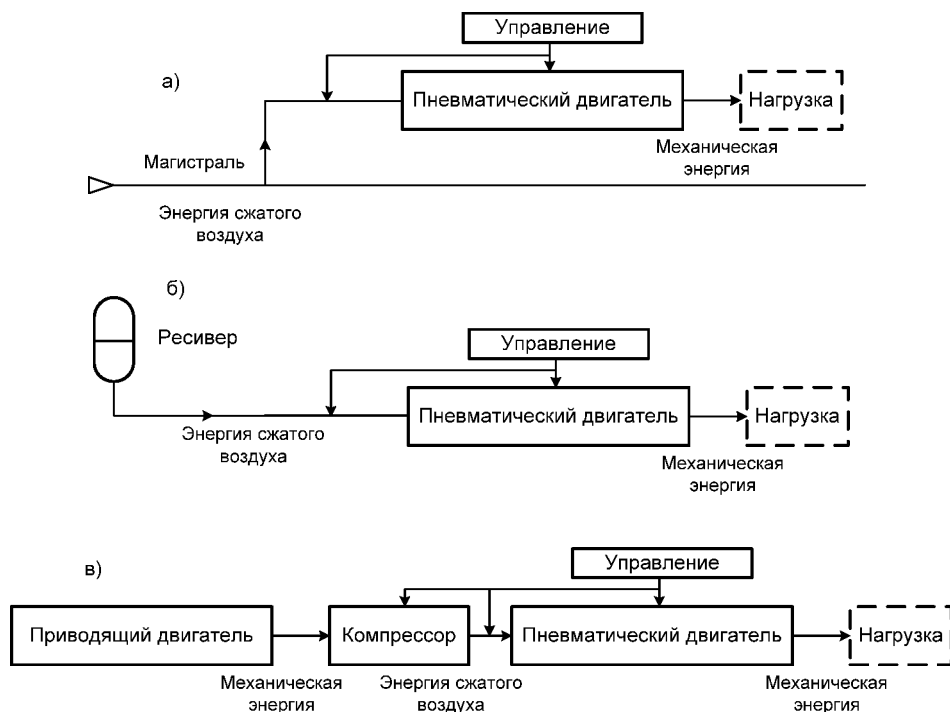


Рисунок 1.1 – Структурные схемы пневмоприводов:

а – магистральный; б – аккумуляторный; в – компрессорный

В состав пневмоприводов входят:

1. Исполнительные устройства (двигатели), - предназначены для преобразования энергии сжатого воздуха в механическую энергию движения рабочих органов машины, которые выполняют заданную технологическую операцию.
2. Распределительное устройство, предназначенное для направления потоков воздуха из магистрали в рабочие цилиндры исполнительных устройств и из рабочих цилиндров в атмосферу.
3. Управляющие устройства, предназначенные для обеспечения последовательности перемещения рабочих органов машин, соответствующих устройств, называют также *системой управления*.

Система управления в общем случае может состоять из пневматических, гидравлических, электрических и комбинированных устройств управления.

В зависимости от структуры исполнительных устройств различают пневмоприводы поршневые, мембранные, сильфонные, пневмомоторы, комбинированные. Наибольшее распространение получили поршневые и мембранные приводы, которые образует группу так называемых *типовых* приводов, у исполнительного устройства которых имеется не более двух полостей. Приводы поступательного и вращательного движения с большим числом полостей у исполнительных устройств образуют *сложные* приводы (например, высокоскоростные и пневмомеханические).

Различают также приводы дискретного и непрерывного действия. Типовые приводы в зависимости от видов входящих в них исполнительных устройств разделяются на односторонние и двусторонние.

Односторонним пневмоустройством называют устройство, в одну полость которого в период работы подается (или из которого вытекает) сжатый воздух, при этом вторая полость соединена с полостью постоянного давления (магистралью или атмосферой).

Двусторонним пневмоустройством называют устройство, в обе полости которого попеременно подается сжатый воздух, вследствие чего рабочий орган совершает возвратно – поступательное движение. Как односторонние, так и двусторонние устройства разделяют на устройство с начальным перепадом давления воздуха на поршне и без него. Примером первого устройства может служить дифференциальное устройство, у которого начальный период работы в одной полости поддерживается магистральное давление p_m , а во второй - атмосферное p_a , т.е. имеет место начальный перепад давлений на поршне.

Под магистральным давлением p_m будем понимать постоянное давление сжатого воздуха на входе рабочий цилиндр из напорной линии (магистральной). Если давление с обеих сторон поршня является атмосферным, то в таком устройстве перепад давлений в начале его работы отсутствует. Примерами таких устройств могут служить односторонние устройства с возвратной пружиной, подъемники, зажимные устройства и др.

Зачастую одну машину «обслуживают» несколько пневматических приводов, которые могут составлять целую *систему приводов*, если последние функционально связаны с друг с другом.

Проектирование пневматической системы начинают с выбора ее структуры (всех элементов привода, в том числе и управляющих устройств) на основании заданной диаграммы последовательного действия исполнительных устройств (*структурный синтез*). После выбора структуры системы необходимо на основании заданных законов движения или быстродействия определить основные ее параметры: диаметры цилиндров, статоров других исполнительных устройств, диаметры воздухопроводов, параметры распределителей и аппаратуры. Эта задача должна решаться с помощью методов *динамического синтеза* пневмосистем.

Так как промышленностью выпускается ограниченное число типоразмеров пневматических устройств, то после выбора всех

элементов системы по каталогам заводов и отраслевых институтов следует проверить пневматическую систему на заданное или ожидаемое быстродействие и другие требуемые условия, используя методы *динамического анализа*. Заключительным этапом проектирования является *структурный анализ* спроектированной схемы с учетом динамических характеристик отдельных элементов и узлов системы. Такой анализ позволяет в ряде случаев упростить структуру системы управления путем учета ее динамических особенностей, использования воздухопроводов для задержки передачи сигналов, применения особым образом сконструированных устройств, пропускающих сигналы только в одном направлении, и т. д.

1.2 ПРИМЕРЫ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

Система кондиционирования самолета

На рисунке 1.2 приведена принципиальная схема системы кондиционирования самолета [6]. Атмосферный воздух через воздухозаборник 1 и фильтр 2 поступает в компрессор 3. После компрессора основная часть воздуха поступает в камеру сгорания двигателя, а другая часть через перекрывной клапан 4, регулятор-ограничитель абсолютного давления 5, обратный клапан 6, газовый фильтр 9 и через распределительный клапан 10 поступает в систему кондиционирования кабин: пассажирской и экипажа. Перекрывной клапан 4 служат для включения и выключения системы кондиционирования. Распределительный клапан 10 управляется с помощью регулятора температуры 22 и направляет воздух по горячей (байпасной) и холодной линиям системы в зависимости от температуры воздуха и производительности этих линий.

На горячей линии с помощью расходомера 63 и регулятора давления 65 поддерживается давление, примерно равное давлению в холодной линии за турбохолодильником. Горячая и хо-

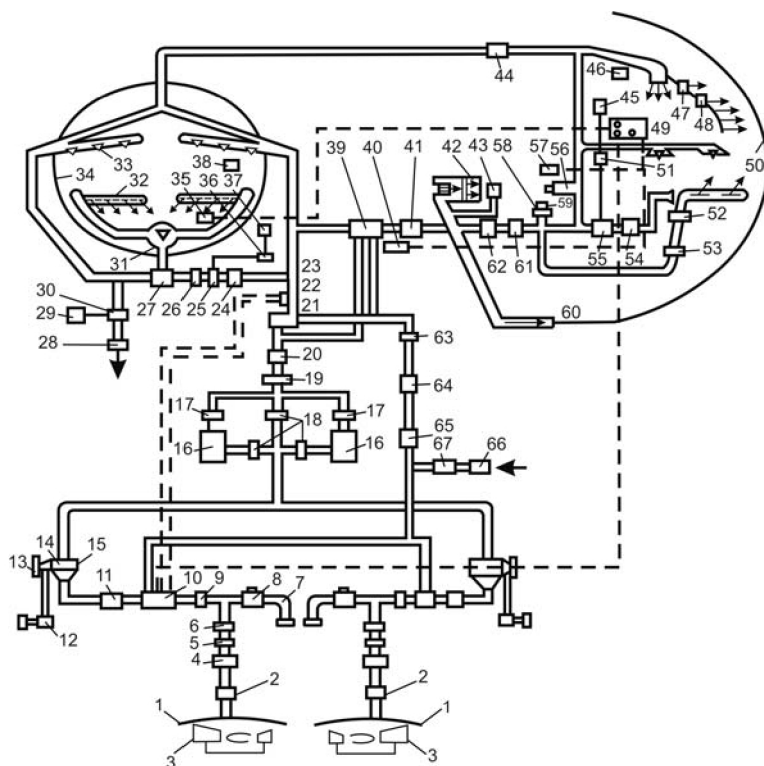


Рисунок 1.2 - Принципиальная схема системы кондиционирования самолета:

1 - воздухозаборник двигателя; 2, 9 - фильтры; 3 - компрессор двигателя; 4 - перекрывной кран (дистанционная заслонка); 5 - регулятор-ограничитель абсолютного давления; 6, 27- обратные клапаны; 7 - штуцер к наземному кондиционеру; 8, 18, 26 , 58, 61 - заслонки; 10 - распределительный кран; 11 - сепаратор влаги; 12, 61 - генераторы тепла; 13 - воздухозаборники теплообменника; 14- воздуховоздушный теплообменник; 15 - выходная заслонка; 16 - турбохолодильник; 17 - влагоотделитель; 19 - глушитель шума; 20 - расходомер воздуха; 21 - смеситель; 22, 23 - датчики температуры; 24, 41 - регуляторы расхода; 25, 55 - увлажнители; 28 - воздух из туалета; 29 - привод заслонки; 30 - заслонка; 31 - регулятор влажности; 32, 33, 39 - распределители воздуха; 34 - пассажирская кабина; 35 - термостат; 36 - электромагнитный клапан; 37 - бак для воды; 38 -термометр; 40 - сервопривод; 42 - регулятор давления; 43, 46 - предохранительные клапаны; 44, 62 - межкабинные клапаны; 45 - бачок для воды; 47 - ограничитель температуры поверхности стекол; 48 - осушительный патрон; 49 - щиток; 50 - кабина экипажа; 51- электромагнитный клапан; 52. 63 - расходомеры; 53, 67 - дроссельная заслонка; 54 - регулятор влажности; 56 - воздух в камбуз; 57 - термостат; 59 - воздух в туалет; 60 - выброс воздуха в атмосферу; 64 - нагреватель; 65 - регулятор давления; 66 – воздухозаборник

лодная линии за турбохолодильником соединяются в смесителе 21, и воздух направляется в пассажирскую кабину 34 и кабину экипажа 50. Термостат 35 служит для регулирования температуры в пассажирской кабине. Импульс из термостата поступает через щиток 49 на сервопривод распределительного клапана 10. Регулирование температуры при помощи термостата происходит с большим запаздыванием. Для уменьшения запаздывания устанавливаются датчики температуры 22 и 23, также передающие импульсы на сервопривод 10. С целью создания температурных условий в кабине экипажа, отличных от условий в пассажирской кабине, устанавливается распределитель 39, приводимый сервоприводом 40. Импульс сервоприводу 40 подается от термостата 57. Регуляторы расхода 24 и 41 регулируют расход воздуха в пассажирскую кабину 34 и кабину экипажа 50. Воздух перед поступлением в кабины увлажняется. Вода в увлажнители 25 и 55 поступает из баков 37 и 45 через электроклапаны 36 и 51. Увлажнители управляются вручную или автоматически регуляторами влажности 31 и 54.

Обратный клапан 26 служит для автоматического отключения кабины от системы кондиционирования в случае повреждения последней, а также при вентиляции кабины от аэродромного кондиционера. Из коллектора воздух поступает по разводящим трубопроводам для обдува стекол фонаря через ограничитель температуры поверхности стекол 47 и осушительный патрон 48 к членам экипажа через дроссельную заслонку 53 и расходомер 52, а также к отдельным агрегатам. Из кабины воздух с продуктами дыхания выбрасывается через регулятор расхода 42, а при перенаддуве - через предохранительный клапан 46.

Стенд для проверки работоспособности электропневмоклапана

На рисунке 1.3 приведена принципиальная схема стенда для проверки работоспособности электропневмоклапана. К клеммам

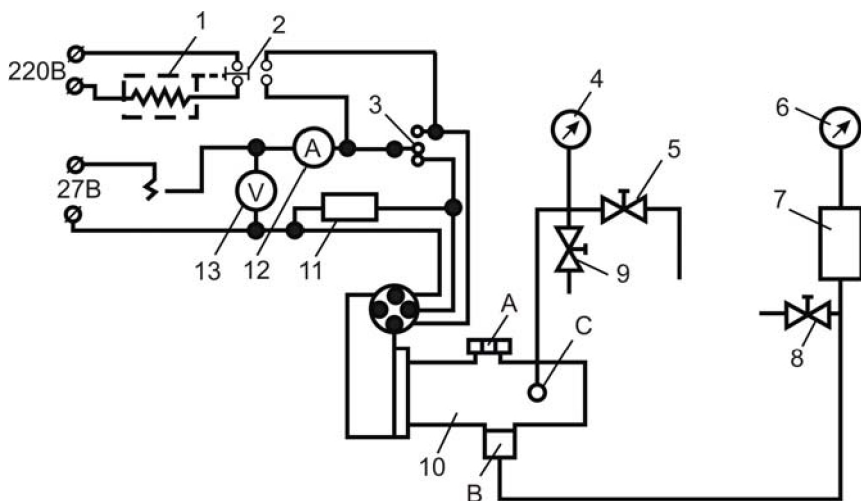


Рисунок 1.3 - Принципиальная схема для испытаний электропневмоклапана:

- 1 — электросекундомер;
- 2 — двойной ключ;
- 3 — переключатель;
- 4, 6 — манометры;
- 5, 8, 9 — вентили;
- 7 — ресивер;
- 10 — испытываемый агрегат;
- 11 — счетчик числа срабатываний;
- 12 — амперметр;
- 13 — вольтметр;
- A, B, C — штуцера электроклапана

электромагнита подается напряжение 24 В. С помощью переключателя 3 клапан ставят в положение «Закрыт», после чего к штуцеру C подводят воздух давлением 15 МПа. Электроклапан переключают 30 раз. Клапан должен срабатывать четко, пропускать через штуцер B воздух, а электромагнит должен автоматически обесточиваться, что определяется по «падению» стрелки амперметра 12. После каждого закрытия электропневмоклапана

воздух из ресивера 7 с помощью вентиля 5 стравливается в атмосферу. Интервал между переключениями клапана 6 с. При проверке электроклапана 10 на герметичность необходимо снять трубки со штуцера В. Электроклапан поставить в положение «Закрыт» переключателем. К штуцеру С подвести воздух давлением 0,05... 1,5 МПа. Травление воздуха в атмосферу через заглушки А, а также через выходной штуцер В не допускается.

Штуцер В заглушить, электроклапан 10 поставить в положение «Открыт» переключателем 3. К штуцеру С подвести воздух давлением 0,05... 1,5 МПа. При каждом значении давления клапан выдержать 3 мин. Травление воздуха в атмосферу через заглушку А не допускается. Снять заглушку со штуцера В. Поставить электроклапан В в положение «Закрыт» переключателем 3.

Штуцер С заглушить. К штуцеру В подвести воздух давлением 0,05... 1,5 МПа. Травление воздуха через заглушку А не допускается.

Шахтный компрессорный пневмопривод

На шахтах и рудниках широко применяется компрессорный пневмопривод [6]. На рисунке 1.4 приведена принципиальная схема шахтного компрессорного пневмопривода.

В состав его входят компрессоры, пневмодвигатели, кондиционеры, пневмоемкости и пневмолинии. Сжатый воздух от компрессора 2 движется до пневмодвигателя 21.

Надежность работы и долговечность пневмопривода зависят от чистоты и маслонасыщенности сжатого воздуха. Для защиты пневматического оборудования от попадания воды, продуктов разложения компрессорного масла, механических частиц, а также для обеспечения смазки пневмодвигателей применяют комплекс кондиционеров (очистных и смазочных устройств). В концевом холодильнике 4 происходит охлаждение воздуха и частичная конденса-

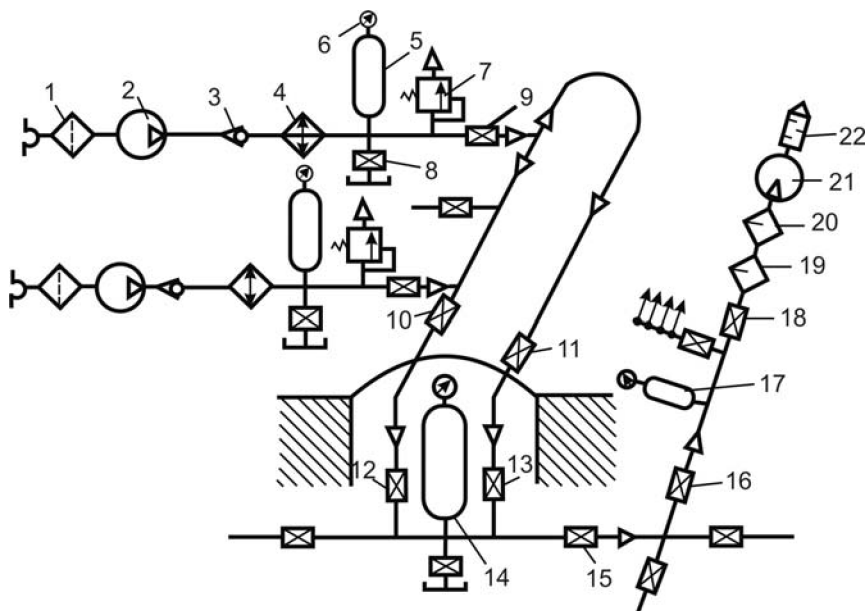


Рисунок 1.4 - Принципиальная схема шахтного пневмопривода:

- 1 — фильтр;
- 2 — компрессор;
- 3 — обратный клапан;
- 4 — концевой холодильник;
- 5 — ресивер (воздухосборник);
- 6 — манометр;
- 7 — предохранительный клапан;
- 8 — край для выпуска конденсата;
- 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18 — задвижки;
- 14 — околоствольный ресивер;
- 17 — участковый ресивер;
- 19 — фильтр - влагоотделитель;
- 20 — маслораспылитель;
- 21 — пневмодвигатель;
- 22 — глушитель

сация паров воды. Капли сконденсированной воды и компрессорного масла улавливаются в ресивере 5. Ресиверы 5, 14 и 17 служат не только для маслосепарации, но и являются

пневмоаккумуляторами, т. е. служат для поддержания заданного давления воздуха в пневмодвигателях.

На ресиверах устанавливаются манометры 6, предохранительные клапаны 7, краны 8 для выпуска конденсата и специальные люки-лазы для удаления твердых осадков.

Газореактивные системы управления

Для управления движением космических летательных аппаратов в пространстве применяют газореактивные системы с применением сжатого газа в качестве рабочего тела.

На рисунке 1.5 показана газореактивная система управления космическим аппаратом. Сжатый газ хранится на борту в баллоне 1. Через клапан 2 осуществляются заправка газа и дренаж, а также необходимые проверочные операции.

После открытия клапана 4 газ через фильтр 5 поступает к регулятору давления газа 6, который редуцирует высокое давление газа до заданного значения и поддерживает его в определенных пределах с целью получения постоянной величины тяги газореактивных двигателей 10. Редуцированный газ низкого давления по трубопроводу поступает к коллектору низкого давления, а оттуда подводится к газореактивным двигателям 10, установленным в соответствующих каналах стабилизации. Двигатели включаются в работу при подаче электрической команды от системы управления, при этом клапан 4 двигателя открывается и газ поступает в сопло.

Предохранительный клапан 8 предназначен для исключения аварийной ситуации при временном повышении давления газа в коллекторе, например из-за выхода из строя регулятора давления 6. Чтобы предотвратить в этом случае возникновение возмущений при срабатывании предохранительного клапана за счет истечения из него сжатого газа, организуется безмоментный выход газа из предохранительного клапана, т. е. истечение газа в противополож-

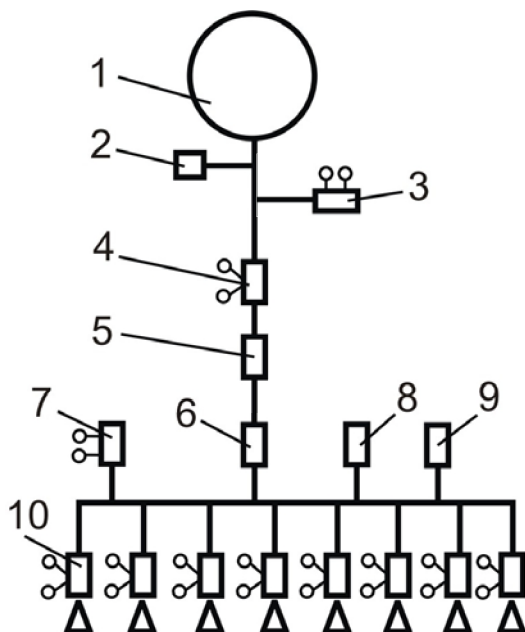


Рисунок 1.5 - Принципиальная схема газореактивной системы управления космическим аппаратом «Маринер»:

- 1 - баллон с сжатым газом,
- 2 - зарядный клапан;
- 3 - датчик высокого давления;
- 4- пусковой клапан;
- 5 - фильтр;
- 6 - редуктор давления;
- 7 - датчик низкого давления;
- 8 - предохранительный клапан;
- 9 - проверочный клапан;
- 10 - газореактивный двигатель

ные стороны через одинаковые проходные сечения. Низкое давление газа в коллекторе и, следовательно, тяга двигателей 10 контролируются с помощью датчика низкого давления 7. Высокое давление газа в баллоне 1 и тем самым герметичность системы контролируются с помощью датчика высокого давления 3.

1.3 СОСТАВ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Пневматический привод состоит из двух взаимосвязанных частей:

- силовой, в которой осуществляются энергетические процессы;
- управляющей, в которой протекают информационные процессы (рисунок 1.6).

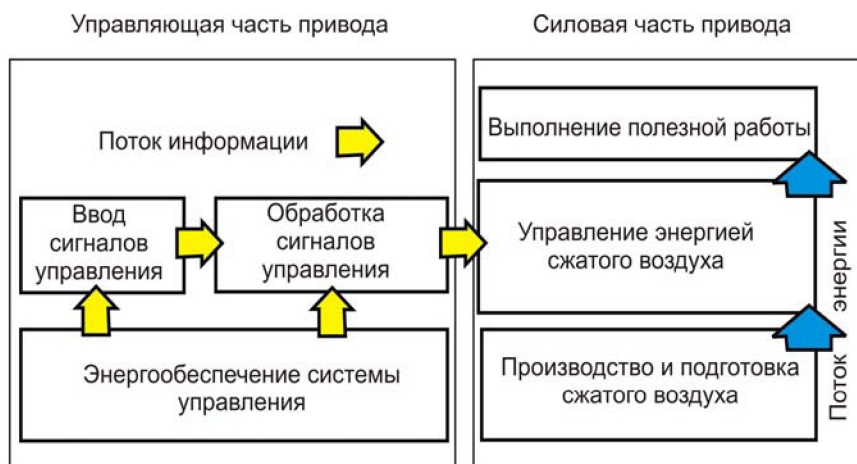


Рисунок 1.6 – Структура пневматического привода

Структура силовой части:

1. Энергообеспечивающая подсистема – устройства для производства и подготовки сжатого воздуха (компрессоры, фильтры, устройства осушки, ресиверы и т.д.).
2. Направляющая и регулирующая подсистема – предназначена для регулирования давления и расхода, распределения и направления потоков сжатого воздуха, что осуществляется посредством клапанов давления, дросселей, распределителей и других элементов.
3. Исполнительная подсистема – осуществляет выполнение полезной работы – выполнение различных рабочих пере-

мещений или создания усилий в машинах, станках и технологических установках (пневмоцилиндры, пневмомоторы, захваты и т.д.).

В простейших приводах функции управления остаются за человеком. Тогда структура привода принимает вид, показанный на рисунке 1.7.

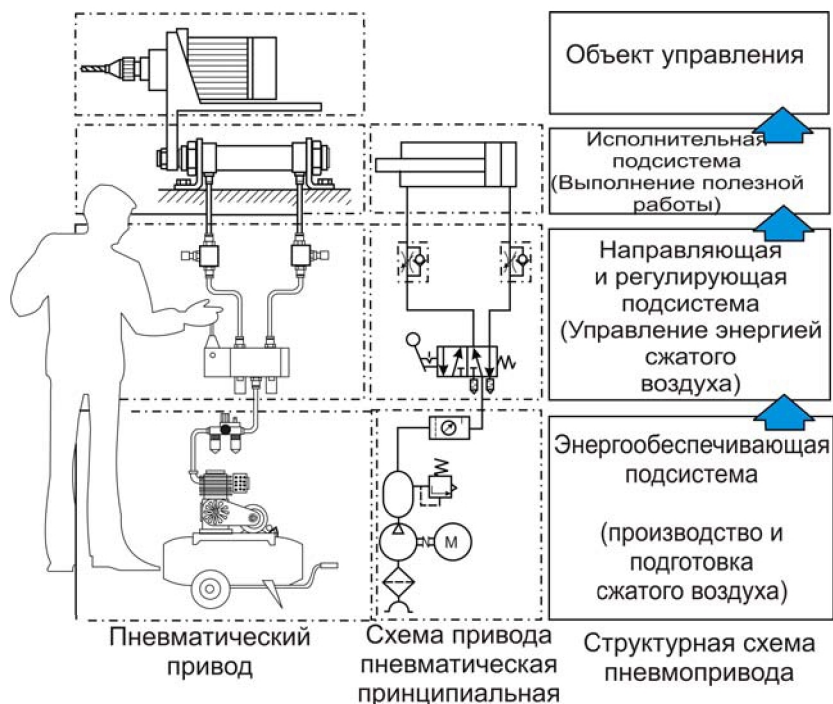


Рисунок 1.7 – Структура пневматического привода с ручным управлением

Поскольку физиологические возможности человека как управляющей системы ограничены, то целесообразно передать функции управления машинам.

Управляющая часть может быть реализована путем использования пневматических, электрических или электронных средств автоматизации.

Если силовая и управляющая часть выполнены на пневматической элементной базе – то это пневматическая система управления (рисунок 1.8), которая может не иметь своей собственной подсистемы энергообеспечения для управляющей части.

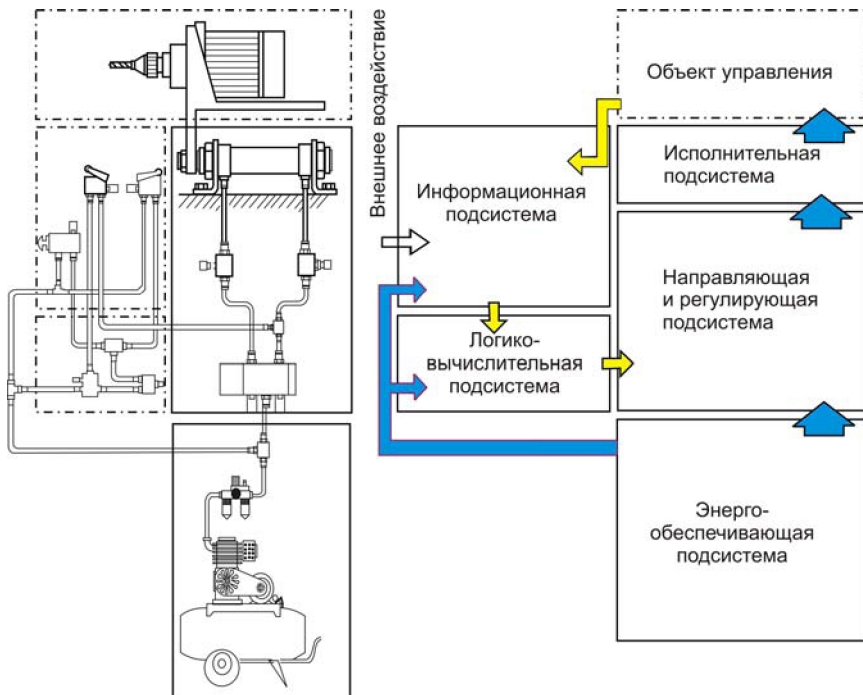


Рисунок 1.8 – Структура пневматической системы автоматического управления

В большинстве случаев исполнительные механизмы приводов технологического оборудования имеют жесткую или кинематическую связь с объектом управления, что позволяет по состоянию их выходных звеньев судить о соответствующем состоянии объекта.

В системах автоматического управления сигналы передаются по замкнутому контуру. При этом реализуется основной принцип построения САУ, который заключается в применении обратной связи, обеспечивающей передачу информации об изменении со-

стояния объекта управления (или, как в нашем случае, - о состоянии исполнительного механизма) в систему управления.

Классификацию САУ, работающих по описанной схеме, можно проводить по различным принципам: типу управления, характеру формирования, виду передаваемых сигналов и т.д. В широко распространенных в промышленности дискретных системах управления, т.е. системах с принудительным пошаговым процессом, программа переходит от текущего шага к последующему только по сигналам, поступающим от системы управления. Если управляющая часть пневмопривода реализована не на пневматической элементной базе, то говорят о гибридной САУ.

1.4 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ПНЕВМОПРИВОДАМ

Типичные требования, предъявляемые к пневмоприводам:

- отсутствие в газах механических примесей в виде пыли и других твердых частиц;
- минимальное присутствие в газе влаги (кроме специальных случаев);
- отсутствие в газах примесей масла;
- газы, выдаваемые потребителям, должны иметь строго заданные параметры по давлению, температуре, влажности;
- вероятность безотказной работы должна быть в зависимости от области применения до 0,99 – 0,999;
- пневмоприводы должны быть рассчитаны на работу в определенных температурных условиях.

Так, например, для всех узлов и агрегатов ракет и космических летательных аппаратов из перечисленных требований основными являются надежность и малая масса.

Надежность - свойство агрегатов выполнить все функции в заданных условиях эксплуатации (рабочие температуры, давление, возможные атмосферные воздействия, перегрузки, вибра-

ции и т. д.). Требование надежности подчиняет себе все другие факторы, характеризующие конструкцию: массу, технологичность, экономичность, прочность и т. д. Надежность работы агрегата определяется его принципиальной схемой и закладывается на этапе проектирования (схемная надежность). Необходимо стремиться к сокращению количества деталей, особенно движущихся, что дает возможность уменьшить вероятность заедания, заклинивания, появления надиров и других дефектов. Удовлетворение перечисленных требований достигается конструктивной схемой агрегатов, тщательной экспериментальной их отработкой, а также технологией изготовления и комплексом испытаний. Точность работы агрегата - допуск на определяющий параметр. Так, если для данного агрегата определяющим является давление срабатывания, то задается допуск на давление; если время срабатывания - то допуск на время и т. д. Точность работы задается на основе расчетов и анализа системы, в состав которой входит агрегат. Потребление малых мощностей позволяет уменьшить массу источников питания.

Кроме перечисленных требований, к пневмоприводам, в зависимости от их назначения, могут предъявляться различные специфические требования: по конструктивному исполнению составных частей системы, работоспособности в условиях вибрации и перегрузок, автоматизации выполняемых операций и т.д.

В некоторых случаях недопустимы утечки газа в окружающее пространство и невозможно применение воздуха из-за его окислительных свойств. Примеры таких систем можно найти в криогенной технике, где в качестве энергоносителя используются агрессивные, токсичные газы или летучие жидкости (аммиак, пропан, сероводород, гелий, водород, фреоны и др.).

2 ПОДСИСТЕМА ПОДГОТОВКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Воздух в системах пневмоавтоматики является энергоносителем и носителем сигналов информации.

Поэтому качество воздуха в значительной степени определяет надежность работы систем пневмоавтоматики. В промышленности для систем пневмоавтоматики приняты 3 диапазона давления питания:

- низкий (0,0012-0,005 МПа);
- нормальный (0,118-0,175 МПа);
- высокий (0,4-1 МПа).

Давление низкого диапазона применяют для питания мембранных вычислительных приборов низкого давления, а также устройств струйной пневмоавтоматики.

Для питания основных управляющих и регулирующих мембранных приборов пневмоавтоматики, которыми в настоящее время оснащено большинство предприятий, используют давления нормального диапазона.

Высокое давление применяется для питания поршней и мембран исполнительных устройств.

Использование низкого давления для питания вычислительных устройств обусловлено тем, что при низких давлениях легко могут быть получены линейные сопротивления.

Отличия в потреблении мощности еще разительнее. Воздух, питающий пневматические устройства при давлении нормальных и высоких диапазонов, подвержен значительному сжатию. Так, например, если давление воздуха увеличивается с 98 до 236 Па, а затем воздух охлаждается до прежней температуры, то абсолютная влажность увеличивается в 2,4 раза. Если при этом относительная влажность станет $> 100\%$, то из воздуха выпадает конденсат. Конденсат на деталях вызывает их коррозию, а если температура отрицательная, то могут возникать ледяные пробки, препятствующие

поступлению воздуха. Конденсат также вызывает примерзание подвижных деталей.

Поэтому в системе подготовки воздуха для устройств, работающих при нормальном и высоком рабочем давлении и при температуре ниже нуля, должно быть предусмотрено устройство для осушки воздуха (дегидратор). Воздух следует осушать до такой влажности, чтобы точка росы была ниже температуры среды, окружающей пневматические устройства.

Таким образом, в источник питания сжатым воздухом должны входить:

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

2.1 КОМПРЕССОРЫ

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

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

В динамических компрессорах воздух поступает на рабочий орган, сообщаящий ему кинетическую энергию, которая на выходе компрессора преобразуется в потенциальную.

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.

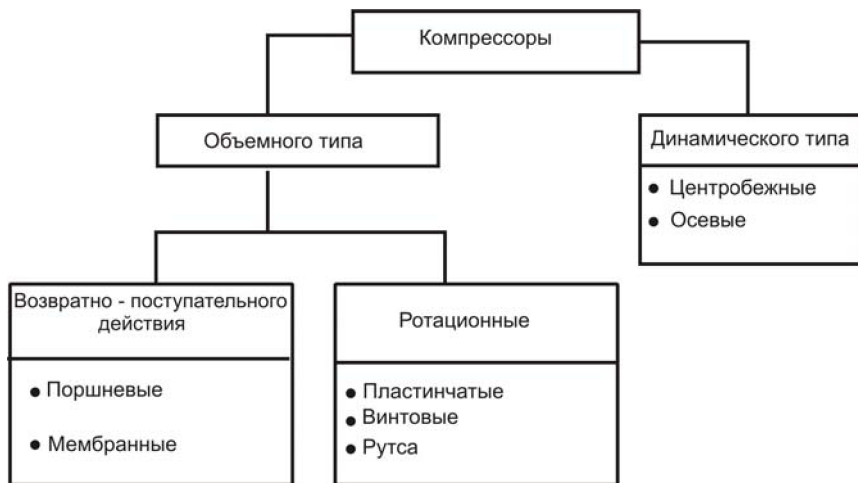


Рисунок 2.1 – Классификация компрессоров

2.1.1 Объемные компрессоры

Наиболее широкое применение находят *поршневые* компрессоры.

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

Основными деталями поршневого компрессора простого действия (рисунок 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.

Для увеличения производительности иногда применяют поршневые компрессоры двойного действия.

Производительность компрессора двойного действия практически в два раза выше производительности компрессора традиционной конструкции при одинаковых объемах рабочих камер.

Одноступенчатые компрессоры позволяют получить сжатый

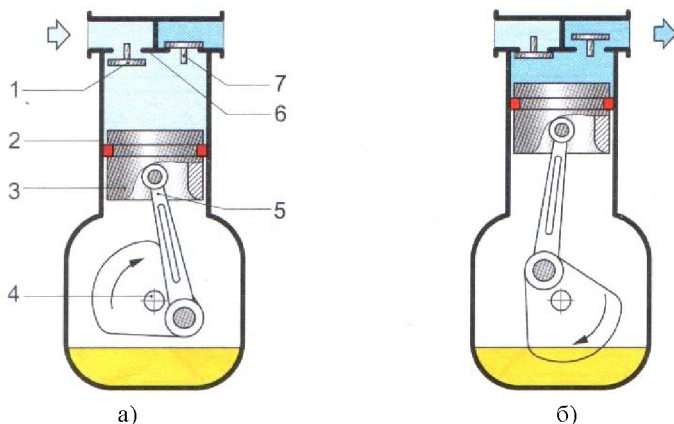


Рисунок 2.2 – Компрессор поршневой:

а) обратный ход, б) прямой ход;

1 - всасывающий клапан;

2 – цилиндр;

3 – поршень;

4 – приводной вал;

5 – кривошипно-шатунный механизм;

6 – крышка;

7 – нагнетательный клапан

воздух с избыточным давлением до 1,3 МПа (13 бар), а развиваемая ими производительность достигает 20 тыс. м³/ч.

Для достижения более высоких значений давления сжатого воздуха (до 100 МПа) используют поршневые компрессоры много-ступенчатого исполнения.

Поршневые компрессоры подают воздух в нагнетательный трубопровод неравномерно, отдельными порциями. Степень неравномерности увеличивается еще и вследствие того, что скорость движения поршня не постоянная, 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.

Если источником сжатого воздуха служит поршневой компрессор, поршни которого подвергаются смазке, то в воздухе, поступающем в пневмоустройства, будут находиться пары масла.

Масляные пары отрицательно влияют на работу пневматических приборов, а в результате длительного действия могут полностью вывести их из строя. Масло, осаждаясь на внутренних поверхностях пневматических устройств, не только засоряет дросселирующие органы, но и разрушает немаслостойкие резиновые мембраны.

Сжатый воздух, не содержащий паров масла, можно получить без применения маслоудерживающих фильтров при помощи мембранного компрессора.

В мембранном компрессоре (рисунок 2.3) процесс получения сжатого воздуха происходит в принципе так же, как и в поршневом, с той лишь разницей, что в нем подвижный поршень заменен жесткозакрепленной 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 0,3 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 рисунке 2.4 изображен ротационный *пластинчатый компрессор*.

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 при вращении ротора выдвигаются из пазов и плотно прижима-

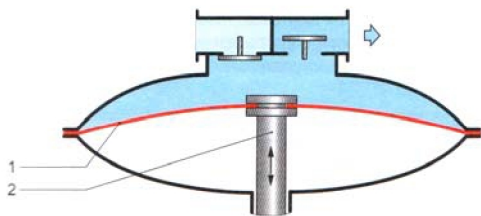


Рисунок 2.3 – Мембранный компрессор

1 – мембрана;
2 – шток.

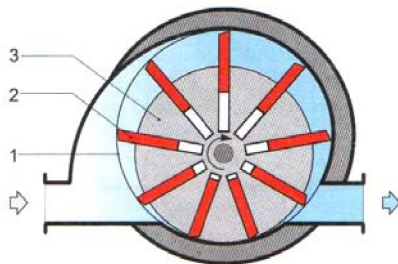


Рисунок 2.4 – Пластинчатый компрессор

1 – цилиндрический статор;
2 – подвижные пластины;
3 – ротор.

ются 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 вращения ротора.

За один оборот ротора объем рабочих камер вначале увеличивается (при этом пластины выдвигаются из пазов), а затем уменьшаются (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 МПа), значительно меньше, чем у поршневого, но его конструктивное исполнение гораздо проще.

Основные элементы конструкции винтового компрессора – два находящихся в зацеплении винта (рисунок 2.5): ведущий 1 и ведом-

мый 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.

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; преимущество – равномерность подачи воздуха, а следовательно отсутствие колебаний уровня давления в линии нагнетания. Винтовые компрессоры обеспечивают давление сжатого воздуха до 2,5 МПа, а расход воздуха в них достигает 30 тыс. м³/ч.

На рисунке 2.6 изображен компрессор Рутса, также относящийся к ротационным компрессорам.

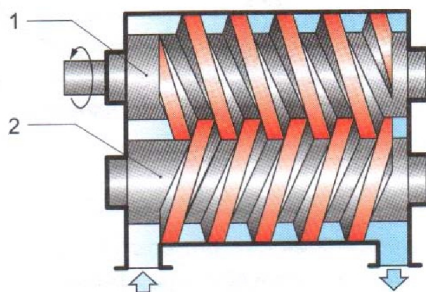


Рисунок 2.5 – винтовой компрессор:

1 – ведущий винт;

2 – ведомый винт

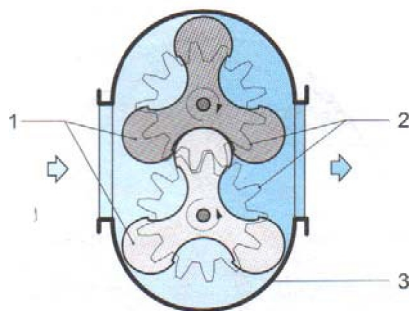


Рисунок 2.6 – компрессор Рутса:

1 – вытеснители;

2 – шестерни;

3 – корпус

Рабочими органами такого компрессора служат два синхронно вращающихся специально спрофилированных вытеснителя 1. Воздух, попадая в рабочие камеры, образованные между вытеснителя-

ми и корпусом 3, переносится из зоны всасывания в зону нагнетания. Рабочие органы не находятся в зацеплении друг с другом, а 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 трущихся поверхностей в рабочей камере обеспечивает возможность достижения большой производительности благодаря высокой частоте вращения роторов.

2.1.2 Динамические компрессоры

В центробежных компрессорах (турбокомпрессорах) основным элементом конструкции служит расположенное в спиральном отводе 2 рабочее колесо 1, представляющее собой диск со специально спрофилированными лопатками (рисунок 2.7).

Всасываемый воздух поступает в осевом направлении к центру колеса. При вращении ротора лопатки раскручивают воздух и одновременно вовлекают его в относительное движение по образованным ими каналам. Под действием центробежной силы воздух движется от центра к периферии. Таким образом, потоку воздуха сообщается кинетическая энергия, которая при протекании его по специально спрофилированным направляющим и отводящим устройствам преобразуется в энергию давления. Как правило, центробежные компрессоры изготавливают многоступенчатыми, т.е. с несколькими рабочими колесами, устанавливаемыми на одном валу. Требуемая степень сжатия воздуха обеспечивается его последовательной подачей с выхода одного колеса на вход другого.

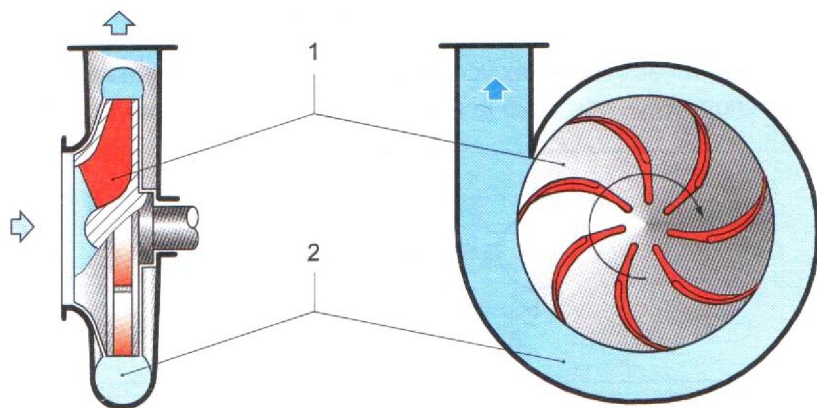


Рисунок 2.7 – Центробежный компрессор:

- 1 – рабочее колесо;
- 2 – спиральный отвод

Основное преимущество компрессоров этого типа – большая производительность (до 400 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$). Это же преимущество характерно и для осевых компрессоров (рисунок 2.8).

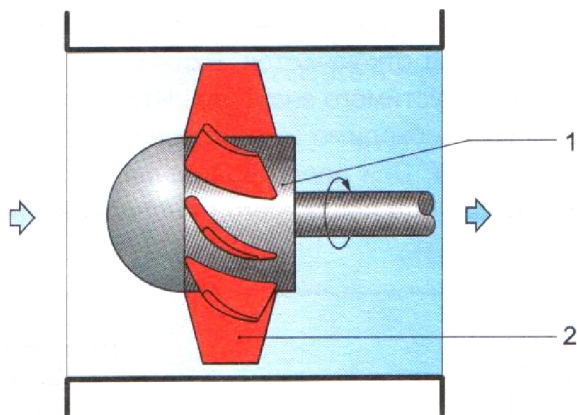


Рисунок 2.8 – Осевой компрессор:

- 1 – вращающийся ротор;
- 2 – рабочие лопатки

Поток воздуха в них имеет осевое направление. Основным конструктивным элементом – вращающийся ротор 1, на поверхности которого укреплены рабочие лопатки 2. Осевые компрессоры развивают давление воздуха до 0,4 МПа, а их производительность достигает значений более 50 тыс. м³/ч.

Производство сжатого воздуха сопровождается значительным потреблением электроэнергии. Например, при получении 10 м³ сжатого воздуха под давлением 0,6 МПа с использованием поршневого компрессора затраты электроэнергии составляют 0,76-0,98 кВтч, а с использованием турбокомпрессора-0,82-1,77 кВтч. При этом чем выше производительность компрессора, тем ниже затраты электроэнергии на каждый 1 м³ 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.

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

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 минимального допустимого значения. Чтобы обеспечить приемлемую периодичность включений-выключений компрессора, необходимо иметь резервный запас сжатого воздуха на его выходе, который создается с помощью ре-

сивера. Для предотвращения выхода воздуха из ресивера в атмосферу через неработающий компрессор, на выходе последнего (в напорной магистрали) устанавливают обратный клапан (см. рисунок 2.9).

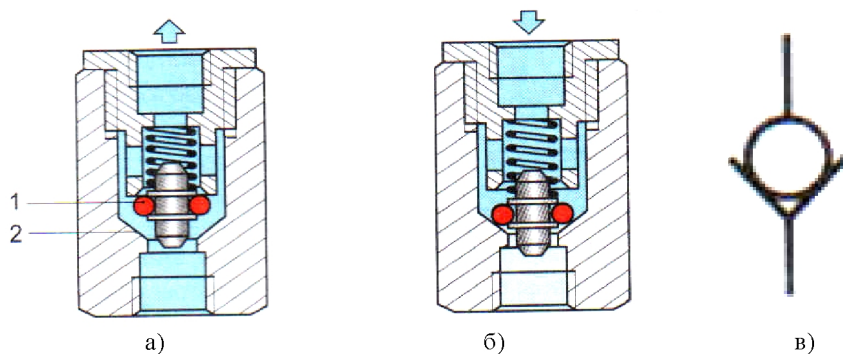


Рисунок 2.9 – Обратный клапан:

- а) движение в прямом направлении;
- б) движение в обратном направлении;
- в) условное обозначение;
- 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.

2.2 УСТРОЙСТВО ОЧИСТКИ И ОСУШКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Для обеспечения надежности и безотказной работы пневматических систем в целом и каждого из их элементов в отдельности необходим очищенный воздух. Загрязнители типа пыли, окалины, ржавчины, а также такие жидкостные составляющие, как конденсат

и компрессорные масла, резко снижают показатели безотказности элементов пневматических систем, приводят к нарушению технологических процессов. Вследствие загрязнения сжатого воздуха износ конструкций увеличивается в 2 – 7 раз, а число их выходов из строя 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 не только от режимов эксплуатации и обслуживания трубопроводов и пневматических устройств, но от загрязненности воздушного бассейна в зоне всасывания компрессора. Поэтому очистку воздуха необходимо предусматривать уже на этой стадии. Обязательность установки фильтра на линии всасывания обусловлена также требованием безопасности работы самого компрессора. Как правило, приемный фильтр имеет корпус 1, в котором располагается собственно фильтрующий элемент 2, выполненный в виде сменного стакана (рисунок 2.10). В качестве материалов для фильтрующих элементов применяют бумагу, фетр, поролон, целлюлозную вату, пористую керамику, металлокерамику, металлические сетки и др.

Значительно улучшить качество фильтров позволяет материал МР (металлорезина) – однородная пористая структура, полученная холодным прессованием дозированной по весу вытянутой проволоочной спирали. Благодаря частично связанной структуре этот пористый материал может быть использован для решения значительно более широкого круга задач. Этому способствует и необычайно широкий круг исходных металлов, используемых для его изготовления, и достаточно широкий диапазон параметров структуры, который может быть реализован в изделиях из него.

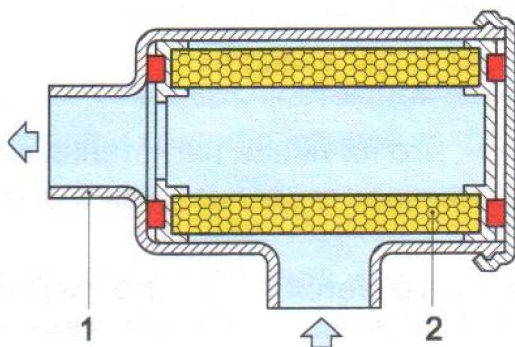


Рисунок 2.10 - Приемный (всасывающий) фильтр:

- 1 – корпус;
2 – фильтрующий элемент

Материал МР был получен в 1958 году в лаборатории «Вибрационная прочность и надежность авиационных изделий» Куйбышевского авиационного института группой сотрудников во главе с А.М. Сойфером.

Упругий пористый материал МР имеет:

- высокую активную пористость;
- большую удельную поверхность;
- хорошую стабильность свойств по времени;
- высокие демпфирующие свойства;
- сравнительно простую технологию получения,

и обеспечивает возможность:

- теоретически подсчитать пористость и удельную пористость;
- получить материал с пористостью в диапазоне 0,13...0,95;
- получить как изотропный, так и анизотропный материал.

Достаточно полную характеристику порового пространства каждой группы пористых металлов дают поля, построенные в координатах Π – пористость (доля пустот в единице объема), $d_{пор}/d_{пор.ед}$

– диаметр пор, отнесенный к единичному диаметру пор (рисунок 2.12) [7].

Анализ зависимости, представленной на рисунке 2.11, показывает, что область 4 (материал МР) поглощает область 2 и занимает значительную часть областей 1 и 3. Это обстоятельство дает осно-

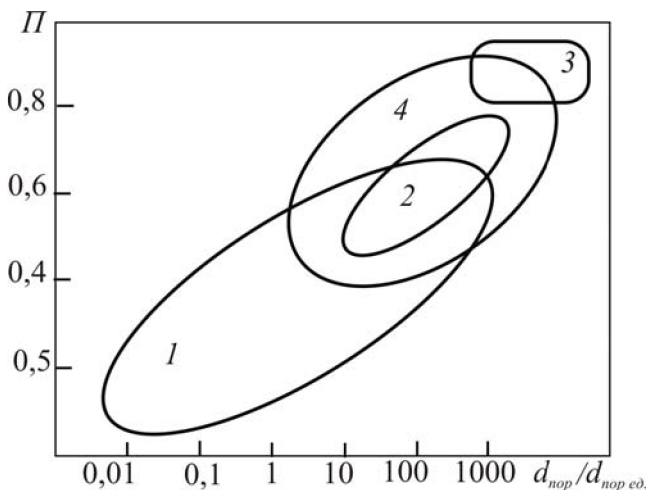


Рисунок 2.11 – Диапазоны значений пористости и размеров пор пористых металлов:

- 1 - спеченный металл;
- 2 - пористая резина;
- 3 - войлок;
- 4 - материал МР

вание предполагать, что изделия из материала МР по параметрам структуры способны решать широкий круг задач, характерных для пористых материалов самых разных групп.

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 по-

падает 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 (рисунок 2.12, а).

Помимо традиционной фильтрации для очистки воздуха, в таких фильтрах используют силы инерции. Поскольку скорость движения воздуха в трубопроводах достигает 40 м/с, то резкое изменение траектории потока в корпусе фильтра приводит к выбросу из его частиц загрязнителей, обладающих большей массой.

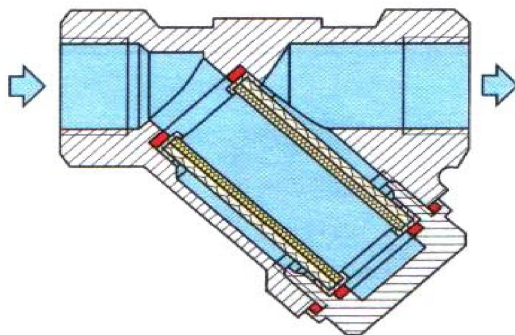
Масло. Наиболее сложно при очистке сжатого воздуха удалить из потока компрессорное масло, содержащееся в виде аэрозоля с частицами размером от 0,01 до 1мкм. Из-за малого размера эти частицы нельзя отделить от потока воздуха путем использования сил инерции. Их эффективное удаление обеспечивают фильтры контактного действия, или коалесцентные фильтры (рисунок 2.12, б).

Если требуется снизить шум выхлопа струи сжатого воздуха, применяют специальные устройства – фильтры-глушители (рисунок 2.12, в).

Конструктивно они сложнее обычных, имеют большие габариты, поэтому их устанавливают на общем для всей пневмосистемы выхлопном трубопроводе.

Устройства осушки сжатого воздуха. В зависимости от требований к степени осушки воздуха для конкретных потребителей применяют различные устройства осушки (рисунок 2.13):

- а) рефрижераторные;
- б) абсорбционные;
- г) адсорбционные.



а)

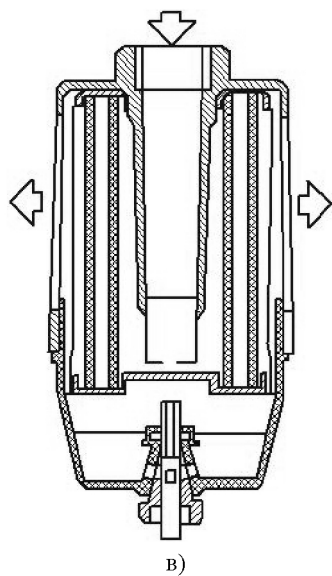
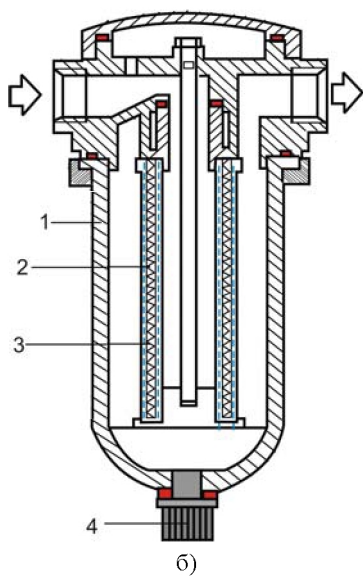


Рисунок 2.12 – Конструктивные схемы фильтров:
а) напорный; б) коалесцентный; в) фильтр – глушитель.;
1 - стакан фильтра;
2, 3 – слои фильтроэлемента;
4 – кран

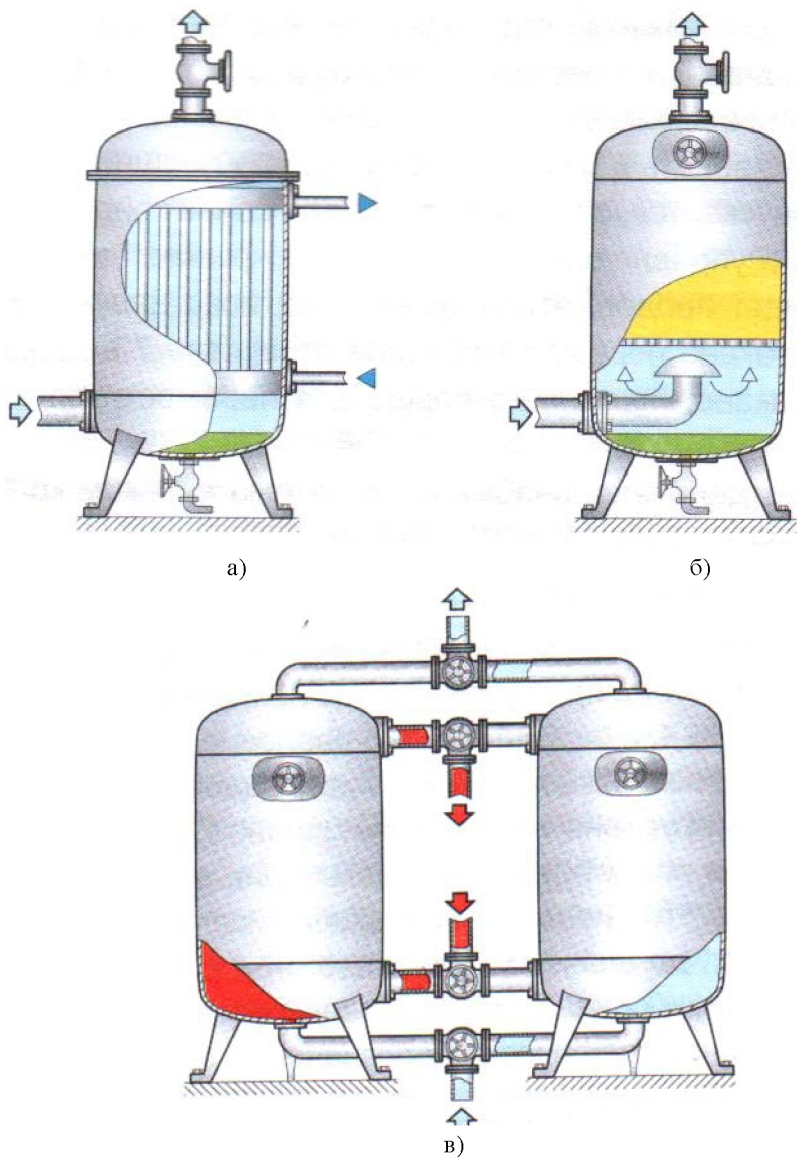


Рисунок 2.13- Устройства осушки сжатого воздуха:

- а) рефрижераторные установки;
- б) абсорбционный осушитель;
- в) адсорбционные осушители

Получить сжатый воздух с точкой росы $2-7^{\circ}\text{C}$ позволяют рефрижераторные установки (рисунок 2.13, а). Воздух пропускают через резервуар с охлаждающим радиатором, по которому циркулирует хладагент (фреон, аммиак и т.д.). Осушка воздуха осуществляется посредством принудительной конденсации на радиаторе. Конденсат, собираемый в нижней части установки, должен периодически удаляться из нее путем присоединения к дренажной системе.

В абсорбционных осушителях (рисунок 2.13, б) воздух поступает снизу в резервуар, заполненный специальным абсорбирующим (поглощающим, химически связывающим влагу) веществом – флюсом, и выходит из верхней части резервуара.

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 приводит к неудобствам в обслуживании и является недостатком подобного технического решения. Тем не менее способ абсорбционной осушки характеризуется простотой установки, небольшим механическим износом, отсутствием расхода внешней энергии. После абсорбционной осушки точки росы сжатого воздуха понижаются до -10°C .

При необходимости более глубокой осушки сжатого воздуха применяют адсорбционные осушители (рисунок 2.13, в), позволяющие снизить точку росы до -70°C . 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 адсорбер работает в режиме осушки воздуха, другой находится в режиме регенерации.

2.3 РЕСИВЕРЫ

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

Отбор сжатого воздуха из ресивера в систему осуществляется из верхней его части, т.к. в нижней со временем скапливается конденсат. Для отвода применяют устройства автоматического или ручного слива. Ресиверы больших объемов снабжают люками для периодической очистки внутренних поверхностей от загрязнений.

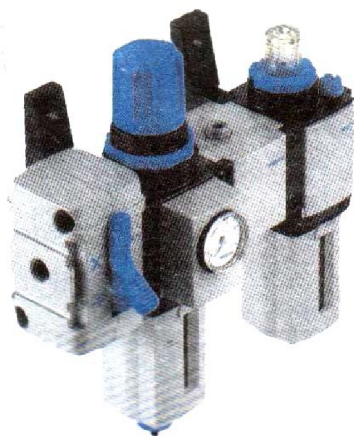
Аккумуляция энергии сжатого воздуха в ресивере позволяет периодически отключать компрессор от пневмосети (переводить в режим разгрузки), либо вообще временно его выключать. Обычно это делается автоматически, когда давление в ресивере достигает значения, на которое настроен установленный на нем электрический датчик давления.

2.4 БЛОКИ ПОДГОТОВКИ ВОЗДУХА

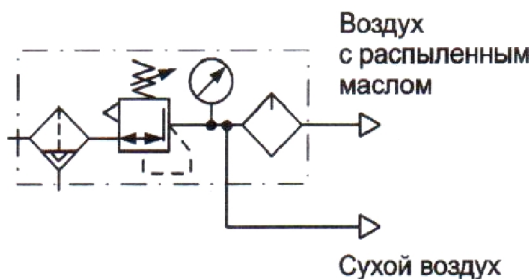
Несмотря на принимаемые меры по централизованной очистке и осушке сжатого воздуха в магистральных трубопроводах, сохраняется вероятность попадания загрязнителей различного происхождения в воздух, поступающий непосредственно к потребителю. Для обеспечения стабильного уровня давления и окончательной подготовки сжатого воздуха непосредственно у потребителя устанавливают блоки подготовки сжатого воздуха. 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. В зависимости от конструктивного исполнения пневмоэлементов, входящих в конкретный пневмопривод, состав и количество устройств, составляющих блок подготовки воздуха, может быть различным. Но в любую конструкцию входят базовые элементы:

- 1) фильтр – влагоотделитель (возможно с автоматическим отводом конденсата);
- 2) редукционный клапан;
- 3) маслораспылитель.



а)



б)

Рисунок 2.14 - Блок подготовки воздуха с модулем отвода:

а- общий вид;

б – обозначение на пневмосхемах

Таким образом, пневмопривод конкретной машины начинается с блока подготовки сжатого воздуха. Правильная подготовка сжатого воздуха представляет собой условие надежного функционирования и долговечности пневматических систем.

3 ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА

Воздействие системы автоматического управления (САУ) непосредственно на какой-либо технологический объект осуществляется исполнительными механизмами, которые и составляют исполнительную подсистему САУ. Энергия сжатого воздуха преобразуется в механическую энергию исполнительных механизмов при воздействии на их рабочие органы, которыми могут служить поршень, лопатка или мембрана. Очевидно, что при этом усилие, развиваемое исполнительным механизмом, пропорционально давлению в нем, а скорость движения выходного звена определяется расходом сжатого воздуха.

Существующее разнообразие исполнительных механизмов дает возможность осуществлять множество различных операций в технологических процессах (Фиксация и зажим, тиснение и прессование деталей, их перемещение и ориентировка в пространстве). Исполнительные механизмы могут выполнять следующие виды движения:

- вращательное;
- поворотное (в ограниченном угловом диапазоне);
- линейное (возвратно-поступательное);

И соответственно, исполнительные механизмы подразделяются на три основных типа:

- пневмодвигатели вращательного действия – пневматические моторы;
- поворотные пневмодвигатели;
- линейные пневмодвигатели – пневматические цилиндры.

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

3.1 ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ МОТОРЫ

Пневматические двигатели как приводы различных машин и механизмов широко применяются во многих отраслях промышленности, что объясняется их конструктивными и эксплуатационными особенностями, делающими их в ряде случаев незаменимыми.

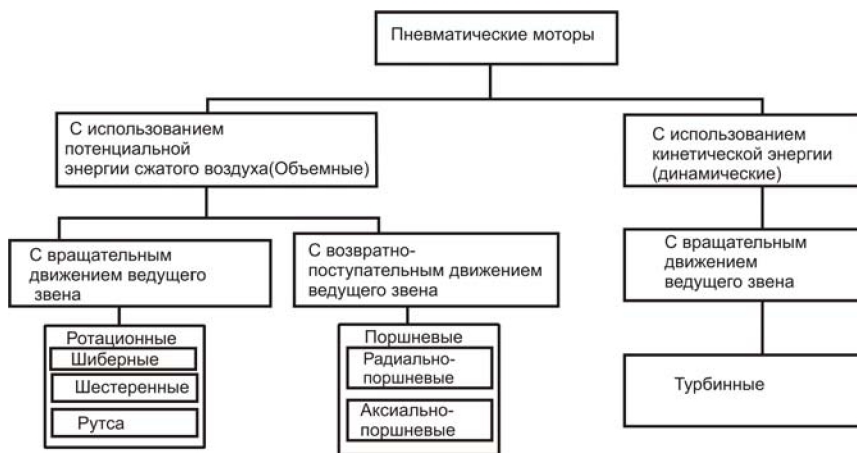


Рисунок 3.1 - Классификация пневматических двигателей

Пневматические двигатели, особенно малой мощности, обладают небольшой относительной массой (приходящейся на единицу мощности), они не боятся перегрузок, просты в конструкции, надежны в эксплуатации и дешевы в изготовлении.

К числу недостатков пневматических двигателей в первую очередь относится их низкий *КПД* (20-30%). С учетом электроэнергии, подводимой к компрессорам, и в зависимости от типа и качества исполнения двигателя, протяженности и состояния воздухопроводных сетей, величина его снижается до 5-15%. Пневматические двигатели изготавливаются в широком диапазоне мощностей с частотой вращения выходного вала от нескольких десятков до нескольких сотен тысяч об/мин и применяются как в стационарных, так и в передвижных установках.

Наибольшее распространение получили пневматические двигатели сравнительно малой мощности (до 2 кВт), применяемые главным образом как приводы ручных механизированных инструментов.

В настоящее время серийно изготавливают в основном пневмодвигатели следующих типов: шестеренные, поршневые, ротационные и турбинные. Каждый из этих типов двигателей в соответствии с их характеристиками имеет определенную область применения.

В таблице 3.1 приведены сводные данные, характеризующие различные типы пневмодвигателей.

Таблица 3.1 - Сводные данные, характеризующие различные типы двигателей

Характеристика двигателя	Тип двигателя				
	Шестеренные		Поршневой	Ротационный (пиберный)	Турбинный
	Прямозубые и косозубые	Шевронные			
Мощность, кВт	3-70	3-330	1-20	0,05-20	0,03-2
Частота вращения, об/мин	1000-3000	1000-3000	400-2000	30-25 000	20000-75 000
Расход свободного воздуха на 1 кВт мощности, м ³ /мин	1,3	1,1	1,1	1,1	1,2
Коэффициент расширения воздуха	-	1,1	1,1	1,3-2,0	-
Относительная масса, кг/кВт	8-12	8-12	5-9	1-2	2-5
Отношение пускового момента к номинальному	1,3	1,6	1,8	1,6	1,5

Из этой таблицы видно, что показатели, характеризующие использование энергии сжатого воздуха, металлоемкость и эксплуатационные качества, у ротационных двигателей в значительной

мере лучше, чем у других. Некоторые присущие им недостатки, ограничивающие в отдельных случаях их применение, при правильном конструктивном решении могут быть или устранены (трудности запуска) или ослаблены до допустимых норм (шум при работе). Все это может способствовать более широкому внедрению двигателей этого типа в различные отрасли промышленности.

3.2 ПНЕВМОДВИГАТЕЛИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

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 наиболее предпочтительным с экономической и технической точек зрения по сравнению с другими типами двигателей. 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, однако не все они нашли широкое применение.

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 η , определяемые теоретически или экспериментально при постоянной частоте вращения n (рисунок 3.2).

Как видно на рисунке 3.2, мощность пневмомотора достигает максимального значения N_{max} при частоте вращения $n_0 \approx 0,5n_{x.x.}$ (где $n_{x.x.}$ - частота вращения при холостом ходе).

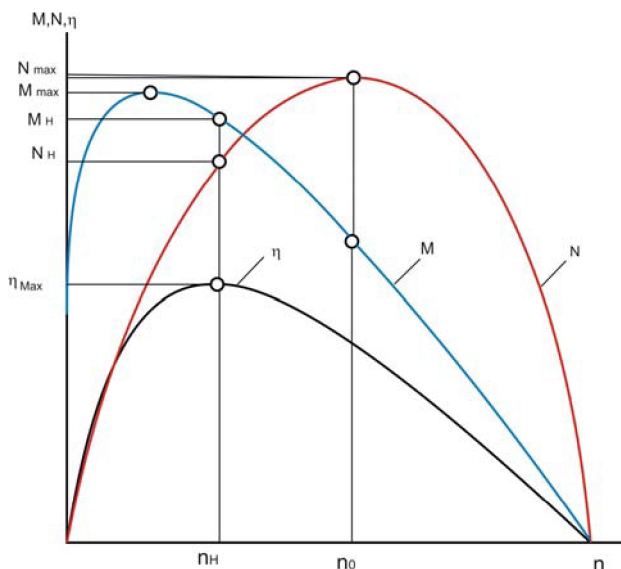


Рисунок 3.2 - Основные рабочие характеристики пневмомоторов:

M – крутящий момент;

N – мощность;

η – общий КПД;

n – частота вращения

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 $n_i = (0,30...0,35)n_{х.х.}$.

Наибольшая экономичность работы пневмомотора достигается именно при номинальной частоте вращения, а наибольшая техническая эффективность – при максимальной мощности. 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.

Принципиальная конструктивная схема шиберного (пластинчатого) пневмомотора (рисунок 3.3) практически не отличается от ранее рассмотренной конструктивной схемы пластинчатого компрессора.

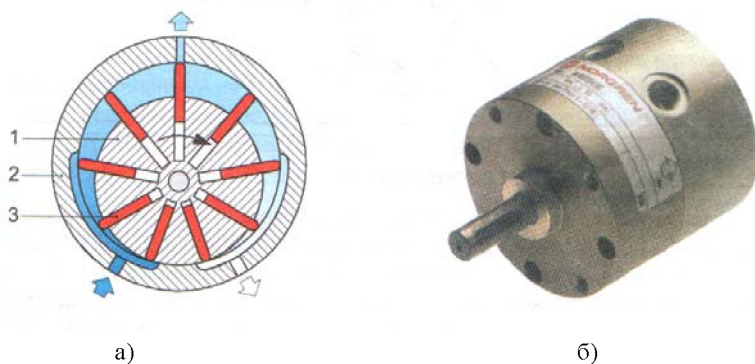


Рисунок 3.3 - Пластинчатый пневмомотор:

а) конструктивная схема, б) внешний вид;

1 - ротор;

2 - статор;

3 – пластина

От числа пластин шиберного пневмомотора зависят его коэффициент полезного действия (КПД), условия пуска и быстрота разгона (приемистость), а также равномерность вращения. Стандарт-

ные конструкции имеют 3 – 5 пластин, в специальных случаях их число увеличивается до 10. Выпускаются как реверсивные, так и нереверсивные пластинчатые пневмомоторы. К недостаткам шибберных пневмомоторов относят необходимость обильной смазки и невысокую герметичность рабочих камер, что приводит к возникновению утечек, к снижению КПД. Диапазон мощностей пластинчатых пневмомоторов составляет 0,05 – 20кВт, 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.

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

3.3 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 (рисунок 3.4).

Шестерни могут иметь прямые, косые или шевронные зубья. Область применения шестеренных пневмомоторов достаточно широка: угольная промышленность (приводы конвейеров, лебедок), химическая промышленность (приводы насосов), металлургия (приводы конверторов, карусельных печей и другого оборудования), тяжелая промышленность (пусковые двигатели для дизелей) и т.д. Пневмомоторы Рутса используют значительно реже, область их применения более узкая, поэтому в данном пособии они не рассматриваются.

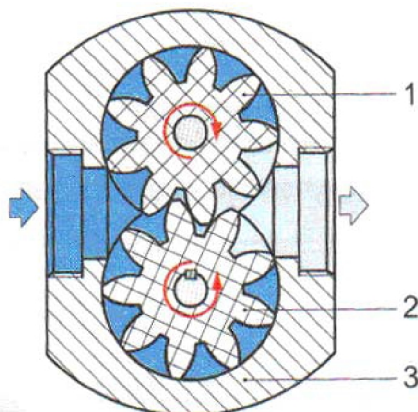


Рисунок 3.4 - Шестеренный пневмомотор:
1,2 – шестерни (зубчатые колеса);
3 – корпус

3.4 РАДИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫЕ ПНЕВМОМОТОРЫ

Радиально-поршневые пневмомоторы довольно сложны по конструктивному исполнению, тихоходны (20 – 700 об/мин), имеют большие габариты и массу по сравнению с другими типами двигателей. При этом они обеспечивают значительную величину крутящего момента. Обычно они имеют от 4 до 6 поршней, а диапазон мощностей составляет 1 – 2 кВт.

В поршневых пневмомоторах поршню за счет энергии давления сжатого воздуха сообщается поступательное движение, которое затем преобразуется механическим путем во вращательное движение выходного вала (рисунок 3.5). 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 распределения на

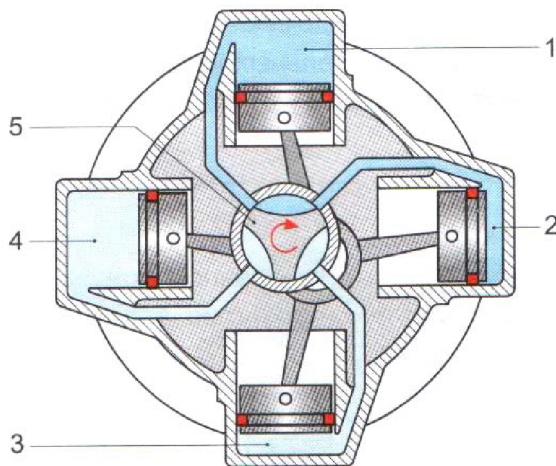


Рисунок 3.5 - Радиально-поршневой пневмомотор:
 1,2,3,4 – рабочие камеры пневмомотора;
 5 – крановый распределитель

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 цикл повторяется.

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

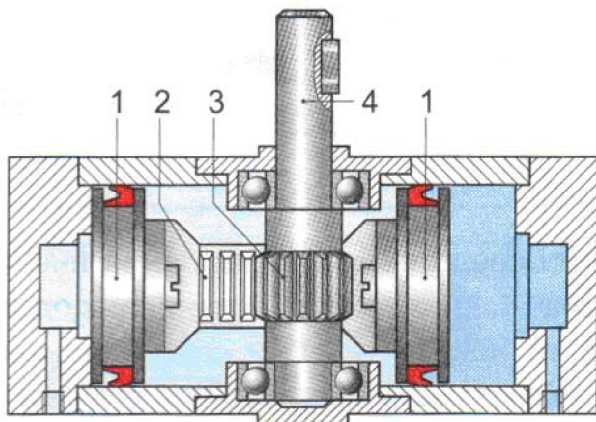
3.5 ТУРБИННЫЕ ПНЕВМОМОТОРЫ

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

Турбинные пневмомоторы позволяют получать высокие частоты вращения (80000 – 400000 об/мин) выходного вала и небольшие крутящие моменты. Турбинные моторы применяют для высокоскоростного шлифования, а также в зубоврачебной технике в качестве элемента привода бормашины.

3.6 ПОВОРОТНЫЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ

В технике существует широкий круг задач, в которых требуется не линейное перемещение выходного звена исполнительного механизма, а поворот его на заданный угол. Угол поворота, как правило, ограничен, и значение его находится в диапазоне от 0 до 360 градусов.



а)



б)

Рисунок 3.6 - Поворотные пневмодвигатели:

а) конструктивная схема, б) внешний вид;

- 1 – поршень;
- 2 – шток-рейка;
- 3 – шестерня;
- 4 – выходной вал

Для решения указанных задач применяют поворотные пневматические двигатели, чаще всего поршневые или шиберные. Поршневой поворотный пневмодвигатель с реечной передачей (рисунок 3.6) выполняется на базе передачи "шестерня – рейка". Шестерня 3 устанавливается на выходном валу 4, входит в зацепление со штоком-рейкой 2, который жестко связан с поршнем 1 двух разнонаправленных цилиндров одностороннего действия. Вал связан с технологическим объектом, который необходимо повернуть на некоторый угол (например с захватным устройством промышленного робота).

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, составляет 150 Нм (при диаметре поршней 100 мм).

3.7 ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ЦИЛИНДРЫ

Среди множества исполнительных механизмов пневматические цилиндры выделяются разнообразием конструкций и широким диапазоном 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: подача сжатого воздуха в них осуществляется для выполнения рабочего хода в одном направлении;
- пневмоцилиндры двустороннего действия: полезная работа совершается ими как при прямом, так и при обратном ходе поршня.

3.7.1 Пневмоцилиндры одностороннего действия

Пневмоцилиндры одностороннего действия применяют в выталкивателях и отсекателях, в зажимных, маркировочных и других подобных устройствах. Рабочий ход в них осуществляется под действием сжатого воздуха, а в исходную позицию выходное звено возвращается встроенной пружиной либо от внешней нагрузки (рисунок 3.7).

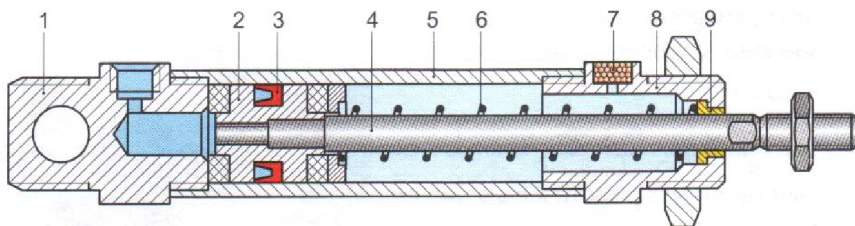


Рисунок 3.7 - Пневмоцилиндр одностороннего действия:

- 1 – задняя крышка;
- 2 – поршень;
- 3 – герметичное уплотнение;
- 4 – шток;
- 5 – гильза пневмоцилиндра (цилиндрический корпус);
- 6 – возвратная пружина;
- 7 – фильтроэлемент;
- 8 – передняя крышка;
- 9 – направляющая втулка

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

Недостатки данной конструкции:

- рабочее усилие снижено вследствие противодействия пружины (примерно на 10%);
 - малое усилие при обратном ходе (например, 10% рабочего);
 - ограниченное перемещение штока (максимум 100 мм);
 - увеличенные продольные габариты (прибавляется длина сжатой пружины).
- Несмотря на простое устройство пневмоцилиндров одностороннего действия, существует большое количество их конструктивных исполнений, например мембранные пневмоцилиндры (рисунок 3.8).

Конструктивные отличия заключаются в том, что подвижный поршень заменен жесткозащемленной упругой мембраной 1, изготовленной из резины, прорезиненной ткани или пластика. Благодаря большой площади мембраны такие пневмоцилиндры развивают усилие до 25000 Н, но при этом ход штока 2 ограничен. В связи с особенностями конструкции мембранные пневмоцилиндры характеризуются существенно меньшими продольными габаритами и

простотой монтажа; они недороги и в них отсутствуют подвижные уплотнения.

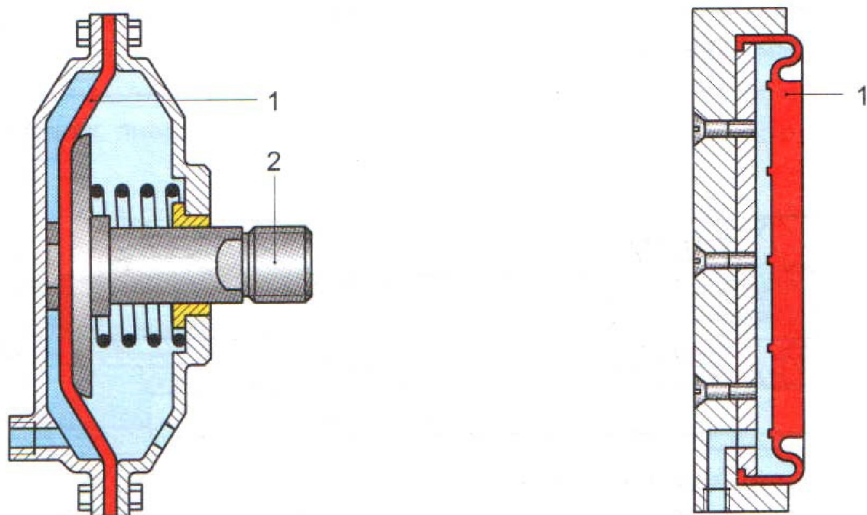


Рисунок 3.8 - Мембранный пневмоцилиндр одностороннего действия:

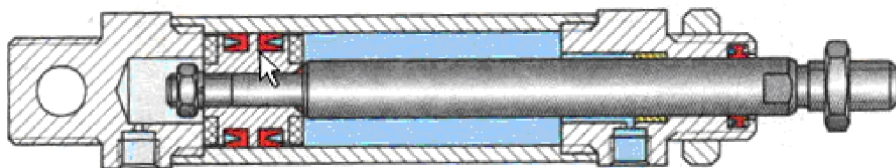
1 - упругая мембрана;

2 - шток

3.7.2 Пневмоцилиндры двустороннего действия

Пневмоцилиндры двустороннего действия применяют в тех случаях, когда требуется передавать рабочее усилие при линейных перемещениях в обоих направлениях, например при транспортировании, сортировании, установке, механической обработке, подъеме и опускании и других технологических операциях.

Принципиальное отличие пневмоцилиндров двустороннего действия от рассмотренных выше пневмоцилиндров одностороннего действия заключается в том, что в них как прямой, так и обратный ходы поршня осуществляются под действием сжатого воздуха при попеременной его подаче в одну из полостей, в то время как другая соединена с атмосферой (рисунок 3.9).



а)



б)

Рисунок 3.9 - Пневмоцилиндр двустороннего действия:
а – конструктивная схема; б – обозначение на пневмосхемах

Очевидно, что 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.

3.8 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Существует целый ряд пневматических исполнительных устройств, которые нельзя однозначно отнести ни к одному из ранее описанных типов, в связи с чем такие устройства называют специальными. К таким устройствам можно отнести: вакуумные захваты, цанговые зажимы, пневматические захваты и т. д.

Вакуумные захваты

В вакуумных захватах объект удерживается вследствие разрежения, создаваемого в полости между эластичным захватом (присоской) и поверхностью самого объекта (рисунок 3.10), а при этом

для получения вакуума в захвате важно, чтобы последняя была достаточно гладкой и плотной.

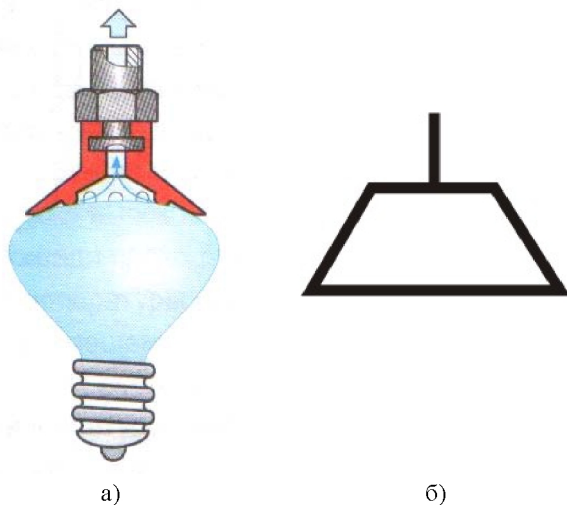


Рисунок 3.10 – Вакуумный захват:

а – конструктивная схема;

б – обозначение на пневмосхемах

В заводских сетях для создания вакуума используют вакуум-насосы. В этих условиях присоска вакуумного захвата должна управляться аппаратурой, способной работать с давлениями ниже атмосферного.

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).

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

4 РЕГУЛИРУЮЩАЯ ПОДСИСТЕМА

Функциональное значение пневматических элементов, образующих направляющую и регулирующую подсистему пневмопривода, заключается в управлении энергией сжатого воздуха, поступающего от источника (компрессорной станции) к потребителю (исполнительным механизмам). Чтобы исполнительные механизмы совершили полезную работу в нужном месте и в требуемом объеме, следует обеспечить движение потока сжатого воздуха в соответствующем направлении и отрегулировать до необходимого уровня его параметры (давление и расход).

В направляющих и регулирующих устройствах воздействие на поток сжатого воздуха осуществляется посредством подвижных запорно-регулирующих элементов (ЗРЭ). Назначение запорно-регулирующего элемента, 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 закрыт - канал открыт), так и плавно-непрерывным. Дискретный режим работы характерен для направляющей и запорной аппаратуры, а в регулирующий аппаратуре запорно-регулирующий элемент постоянно находится в "плавающем" режиме.

В зависимости от способа воздействия элемента 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 (рисунок 4.1).

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

К недостаткам аппаратуры клапанного типа можно отнести

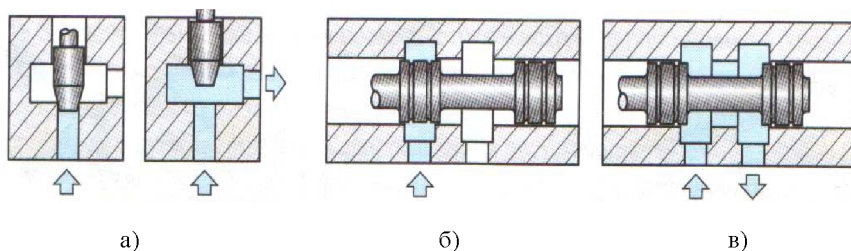


Рисунок 4.1 - Принцип действия аппаратов клапанного (а) и золотникового (б) типов

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

Иногда такую аппаратуру называют аппаратурой седельного типа (в самом деле, термин "предохранительный клапан клапанного типа" звучит несколько странно).

В аппаратуре золотникового типа ЗРЭ перемещается перпендикулярно осевой линии потока. В подобных аппаратах усилие, обусловленное давлением сжатого воздуха на ЗРЭ, не приводит к какому-либо его смещению, т.к. силы давления на торцы золотника уравновешены (золотник гидравлически разгружен). Для перемещения ЗРЭ необходимо преодолеть только силы трения между ним и корпусом, что является неоспоримым для такого конструктивного решения.

При этом можно выделить следующие его недостатки:

- 1) для полного открытия рабочего канала золотник необходимо переместить как минимум на величину диаметра канала (на что требуется затратить определенное время);
- 2) гарантированный зазор между золотником и расточкой корпуса является "узким" местом, если учитывать возможность засорения зазора и заклинивания ЗРЭ.

Вывод из всего вышеизложенного: для управления небольшими по величине расхода потоками сжатого воздуха следует использовать преимущественно аппаратуру клапанного типа, тогда как аппаратуру золотникового типа – для управления потоками воздуха с большим расходом. На практике активно применяют оба решения, причем зачастую они сочетаются в одной и той же конструкции.

4.1 ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛИ

Пневматические распределители (пневмораспределители) относятся к направляющей аппаратуре и предназначены для управления потоками подводимого к ним сжатого воздуха. Управление осуществляется путем изменения (при переключении) схемы соединения внутренних каналов распределителя с входным и выходными присоединительными отверстиями. Функциональные возможности распределителей характеризуется рядом параметров, как то: количество рабочих каналов, количество позиций переключения, нормальная позиция (позиция "на складе"), способ управления и пропускная способность. Все эти параметры, за исключением последнего, отражаются в условном графическом обозначении любого распределителя.

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

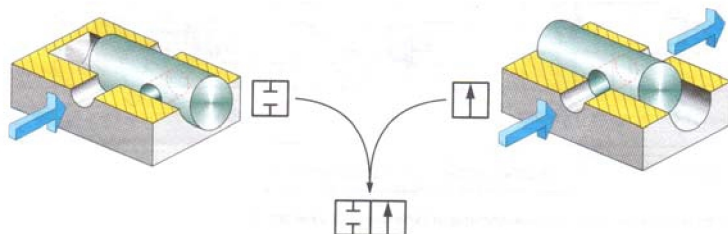


Рисунок 4.2 - Принцип формирования условного графического обозначения распределителей

В представленной модели простейшего распределителя подвижный 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 наглядно отражается в его условном графическом обозначении.

Чтобы кратко охарактеризовать возможности распределителей по коммуникации подведенных к ним рабочих каналов, применяют дробное цифровое обозначение, где в числителе указывают количество коммутируемых линий, а в знаменателе – количество возможных позиций. В соответствии с этим принципом рассмотренный выше аппарат будет называться $2/2$ – пневмораспределителем.

На принципиальных пневматических системах распределители изображают таким образом, чтобы линии связи (внешние пневматические линии) были подведены к тому квадрату, который обозначает исходную позицию распределителя (рисунок 4.3). Чтобы получить представление о работе последнего, следует мысленно

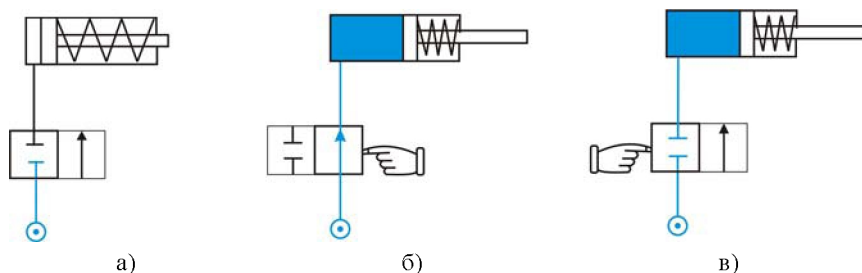


Рисунок 4.3 – $2/2$ пневмораспределитель на линии управления пневмоцилиндром одностороннего действия:

- а – цилиндр без сжатого воздуха в рабочей полости;
- б – соединение рабочей полости с линией нагнетания;
- в – перекрытие линии нагнетания

передвинуть относительно линии связи соответствующий квадрат в условном графическом обозначении на то место, которое на схеме занимает квадрат, изображающий исходную позицию распределителя.

Заключительный этап–возврат штока в исходное положение–оказывается невыполнимым, поскольку при переключении пневмораспределителя в исходную позицию отработавший сжатый воздух не имеет возможности выхода из пневмоцилиндра (рис. 4.3 в).

Возникшую проблему можно решить путем использования двух параллельно работающих (условно связанных между собой) 2/2 пневмораспределителей. Через один из них осуществляется подача сжатого воздуха в пневмоцилиндр, а другой предназначен для отвода отработавшего воздуха (рисунок 4.4).

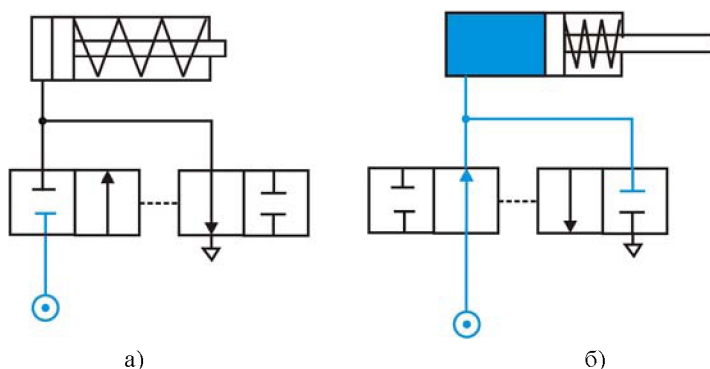


Рисунок 4.4 – Управление пневмоцилиндром одностороннего действия двумя 2/2 – пневмораспределителями:

а – соединение с линией выхлопа;

б – соединение с линией нагнетания

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

На практике для управления пневмоцилиндрами одностороннего действия применяют не два 2/2 – пневмораспределителя, а один, более сложный по конструктивному исполнению, который имеет возможность коммутировать линии питания, потребления и выхода – 3/2 – пневмораспределитель (рисунок 4.5).

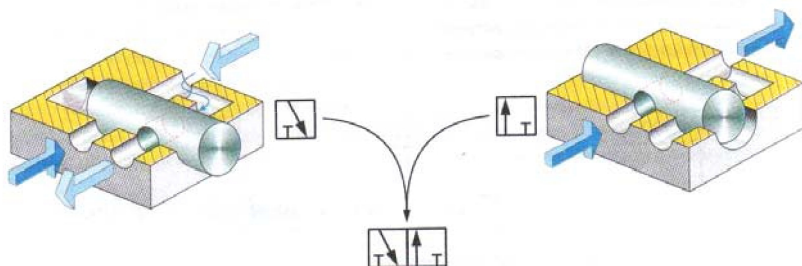


Рисунок 4.5 – Модель и условное графическое обозначение
3/2 - пневмораспределителя

Таким образом, 3/2 – пневмораспределитель коммутирует между собой три рабочих линии (рисунок 4.6): 1 – линию питания, 2 –

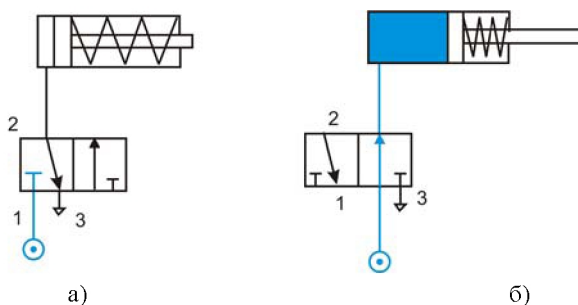


Рисунок 4.6 – Управление пневмоцилиндром одностороннего действия
3/2 – пневмораспределителем:

а – соединение с линией выхлопа;

б – соединение с линией нагнетания;

1 – линия питания;

2 – линия потребителя;

3 – линия выхлопа

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.

Для управления пневмоцилиндрами двухстороннего действия потребуется еще более сложные распределители, так как в этом случае последние должны обеспечивать перераспределение потока сжатого воздуха между двумя рабочими полостями исполнительного механизма и сброс из них отработавшего воздуха (рисунок 4.7).

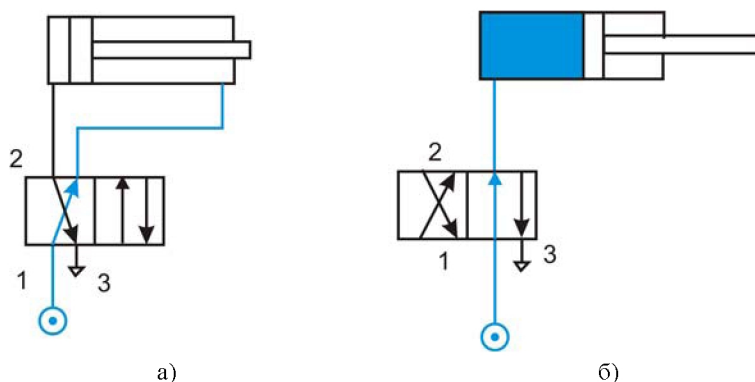


Рисунок 4.7– Управление пневмоцилиндром двустороннего действия 4/2 – пневмораспределителем:

- а – соединение рабочей полости с линией выхлопа, штоковой полости с линией нагнетания;
- б – соединение штоковой полости с линией выхлопа, рабочей полости с линией нагнетания

Таблица 4.1 - Индексация (маркировка) линии (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

Приведенная в таблице индексация может быть проставлена на принципиальных пневматических схемах, но индексами маркируют присоединительные отверстия в корпусах пневмоаппаратов, что позволяет правильно осуществить монтаж пневматических систем, не рискуя перепутать места присоединения трубопроводов.

Переключение пневмораспределителей из одной позиции в другую осуществляется перемещением их ЗРЭ посредством внешних управляющих воздействий (пунктирная линия на схеме).

В зависимости от природы этих воздействий различают следующие виды управления распределителями:

- 1) мускульной силой;
- 2) механическое;
- 3) пневматическое;
- 4) электрическое;
- 5) комбинированное.

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.

Возвращаясь к вопросу об индексации, отметим, что в отличие от рабочих пневмолиний, для которых используют одноцифровые индексы, линии управления пневмоаппаратами обозначают двузначными числами (рисунок 4.7; см. также таблицу 3).

4.2 ЗАПОРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

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

О конструкции и принципе действия обратного клапана шла

речь в разделе "Динамические компрессоры". 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.

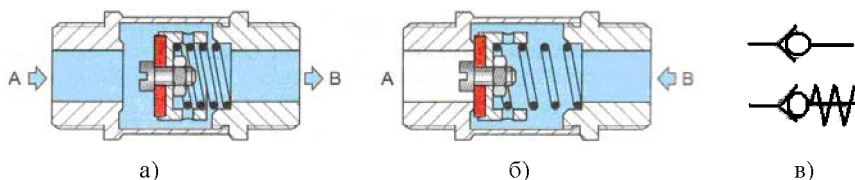


Рисунок 4.8 - Обратный клапан:

А – входной канал

В – выходной канал

а – движение в прямом направлении;

б - движение в обратном направлении;

в - обозначение на пневмосхемах

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 (рисунок 4.9).

Через пневмозамок воздух свободно проходит из канала 1 в канал 2 (рисунок 4.9), тогда как в обратном направлении – только при наличии сигнала в канале управления 21. При этом во втором случае шток 2 миницилиндра 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 самопроиз-

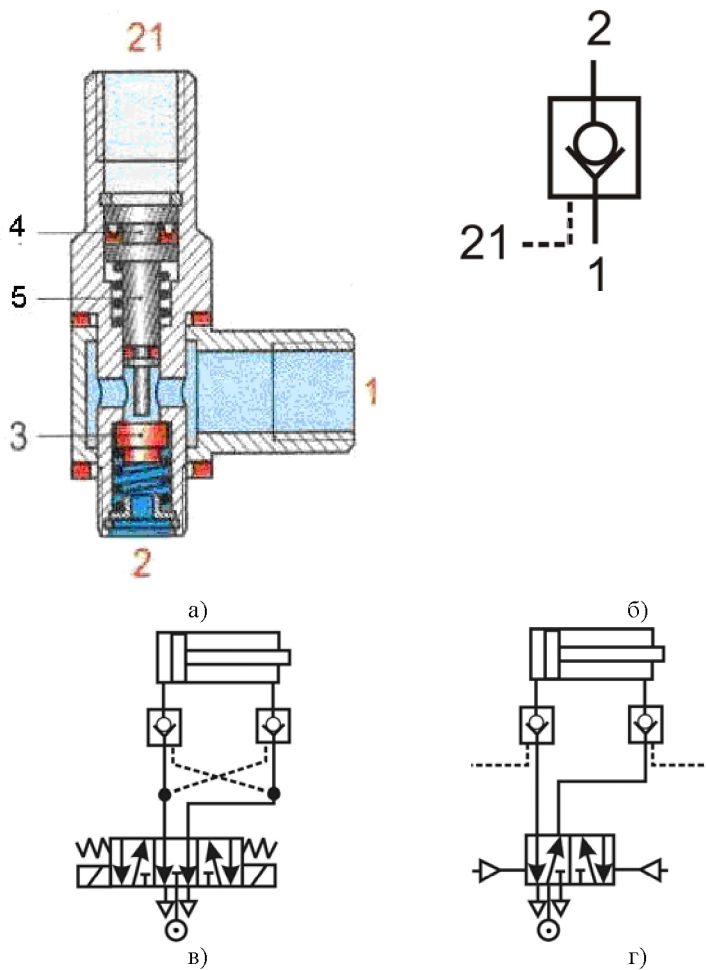


Рисунок 4.9 - Пневмозамок и примеры его применения:

а – конструктивная схема;

б – обозначение на пневмосхемах;

в – управление от пневмораспределителя;

г – внешнее управление;

1, 2 – каналы;

21 – канал управления;

3 – клапан;

4 – поршень;

5 – шток

вольного опускания штоков вертикально установленных пневмоцилиндров.

Для запираания магистральных трубопроводов или отсечения отдельных ветвей пневмосистемы применяют различные вентили. В шаровых вентилях (рисунок 4.10) поток сжатого воздуха полностью перекрывается при повороте запорно-регулирующего элемента (шара с выполненным в нем сквозным отверстием) на 90° .

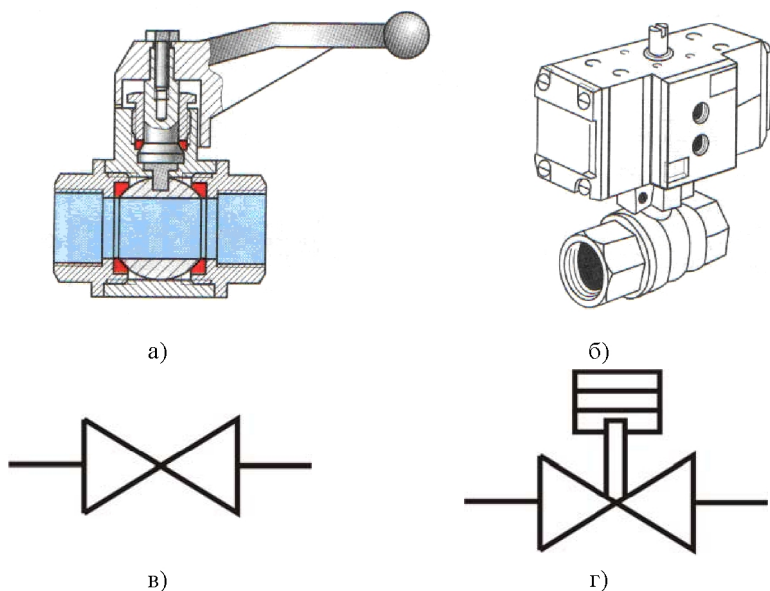


Рисунок 4.10 - Шаровый замок:

- а – конструктивная схема шарового замка с ручным управлением;
- б – внешний вид шарового замка с пневматическим управлением;
- в - обозначение на пневмосхемах шарового замка с ручным управлением;
- г - обозначение на пневмосхемах шарового замка с пневматическим управлением

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

4.3 УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА

Расход сжатого воздуха в пневмоприводах обычно регулируют с целью управления скоростями движения выходных звеньев исполнительных механизмов. К примеру, чем больше расход воздуха, поступающего в пневмоцилиндр, тем выше скорость перемещения штока.

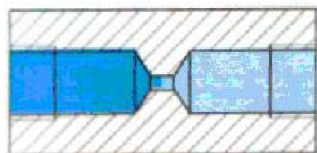
Простейшим пневматическим элементом, позволяющим регулировать расход воздуха, является дроссель. Дроссель – это устройство, обеспечивающее существенное уменьшение площади проходного сечения канала, по которому движется сжатый воздух. Установка дросселя в пневмолинии приводит к возникновению дополнительного 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 изменяется путем вращения регулировочного винта. Собственно, дроссель будет называться либо постоянным (рисунок 4.11,а), либо регулируемым (рисунок 4.11,б).

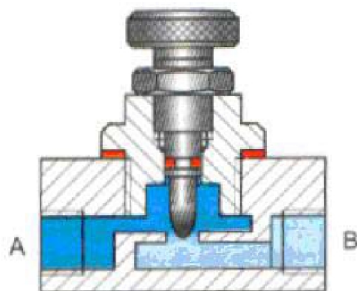
Если длина дросселя превышает ее диаметр, дроссель принято называть ламинарным, в противоположном случае – турбулентным.

При установке дросселя в трубопроводе расход будет снижаться при протекании потока в любом из двух направлений. Если возникает необходимость регулировать расход только в одном из них и обеспечить свободное протекание сжатого воздуха в обратном, то в пневмолинию устанавливают дроссель с обратным клапаном (рисунок 4.12).

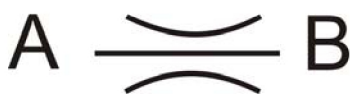
В нормальном состоянии тарельчатый обратный клапан 5, в центральной части которого выполнено дросселирующее отверстие 3, прижат к седлу 4 пружиной 2. В случае, когда сжатый воздух



а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.11 - Пневмодроссели: а – постоянный; б – регулируемый;
в - обозначение на пневмосхемах постоянного пневмодросселя;
г - обозначение на пневмосхемах регулируемого пневмодросселя;
А, В – каналы

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, указываю-

щей направление дросселирования потока. Это делается для предотвращения неправильной установки данного элемента в системе.

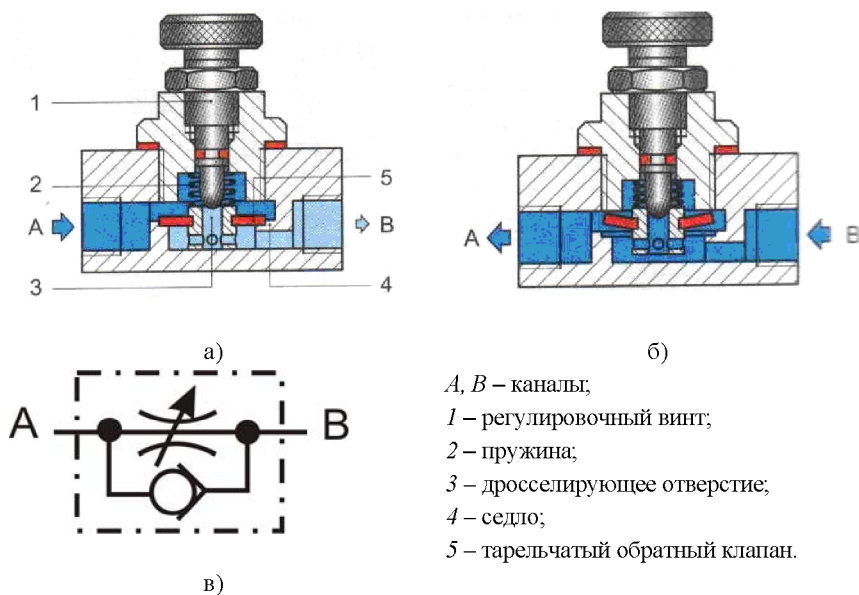


Рисунок 4.12 - Пневмодроссель с обратным клапаном:

а – движение в прямом направлении; б – движение в обратном направлении; в – обозначение на пневмосхемах

4.4 УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Необходимость регулирования давления в пневматических системах обусловлена рядом причин. Так, при работе оборудования на малых давлениях резко снижается КПД, и в то же время давление выше оптимального приводит к интенсивному износу оборудования при незначительном повышении производительности. Кроме того, поддержание заданного давления в рабочих полостях исполнительных механизмов обеспечивает постоянство развиваемого ими усилия либо скорости движения выходного звена, что является требованием при создании многих технологических установок. За-

дачи регулирования давления в пневматических системах решаются посредством клапанов давления: предохранительных и редукционных, а также регуляторов давления.

Назначение предохранительных клапанов 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.

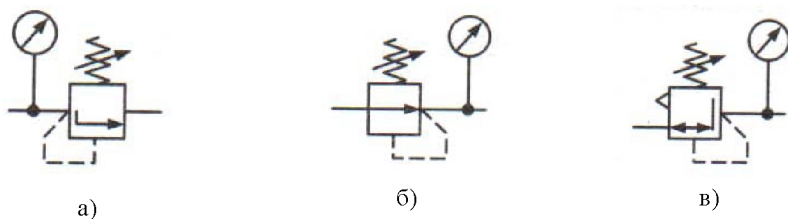


Рисунок 4.13 - Пневмоклапаны давления:

- а) предохранительный,
- б) редукционный двухлинейный,
- в) редукционный трехлинейный

Назначение редукционных пневмоклапанов (рисунок 4.13, 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.

При выборе клапанов давления следует принимать во внимание следующие технические характеристики:

- диапазон рабочих давлений;
- диапазон температур;
- номинальный расход;
- размер присоединительных отверстий.

Применяемые в пневмоприводах редукционные клапаны различают по следующим основным признакам:

- способ настройки выходного давления (механическая или пневматическая настройка);
- возможность сброса избыточного давления (с клапаном сброса или без него).

Двух- и трехлинейные редукционные клапаны

Рассмотрим конструкцию и принцип действия редукционного клапана с ручной настройкой и без сброса избыточного выходного давления (рисунок 4.14, а).

Давление на выходе редукционного клапана регулируется путем создания перепада давления на седельном клапане 7 (между входным и выходным каналами). Проходное сечение клапана 7 автоматически меняется в зависимости от положения мембраны 4, которая с одной стороны воспринимает усилие, создаваемое нагрузочной пружиной 3, а с другой – усилие, обусловленное выходным давлением.

В исходном положении (давление на выходе отсутствует) седельный клапан 7 под действием усилия от нагрузочной пружины 3, передаваемого через мембрану 4 и толкатель 5, открыт, благода -

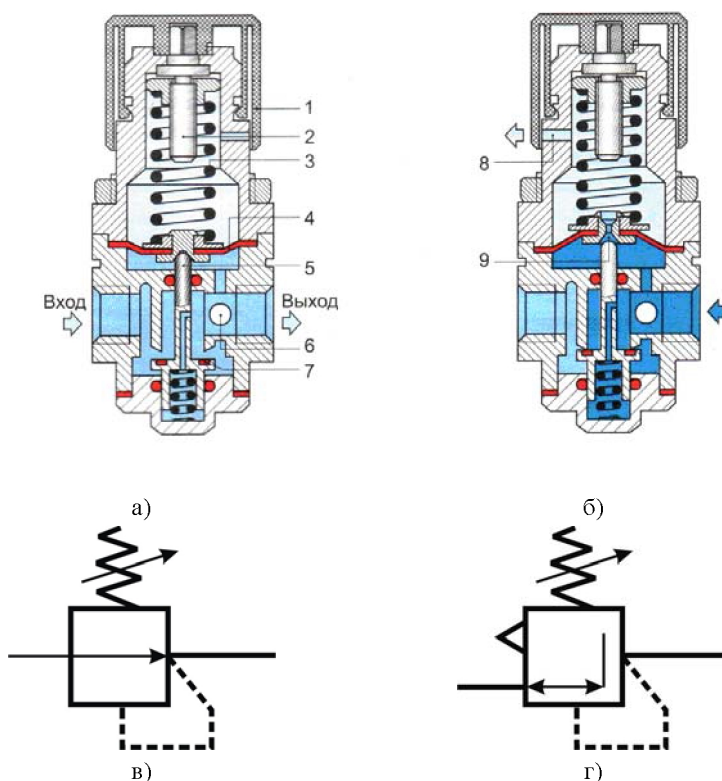


Рисунок 4.14 – Конструктивные схемы (а и б) и обозначение на пневмосхемах (в и г) редукционных клапанов:

а) и в) - двухлинейный; б) и г) – трехлинейный;

1 – рукоятка;

2 – регулировочный винт;

3 – нагрузочная пружина;

4 – мембрана;

5 – толкатель;

6, 8 – отверстие;

7 – седельный клапан;

9 – канал

ря чему сжатый воздух проходит с входа на выход аппарата.

При повышении давления на выходе мембрана выгибается, сжимая регулировочную пружину 3, проходное сечение седельного

клапана 7 уменьшается и при достижении требуемого давления происходит полное его закрытие.

Возрастание расхода сжатого воздуха у потребителя сопровождается понижением выходного давления, в результате чего нагрузочная пружина разжимается, вызывая прогиб мембраны и увеличение проходного сечения клапана, что приводит, в свою очередь, к увеличению расхода воздуха через редукционный клапан и повышению давления на его выходе.

Таким образом, седельный клапан, управляемый мембраной, автоматически «отслеживает» выходное давление путем непрерывной корректировки своего проходного сечения. Нормальная работа редукционного клапана возможна только в том случае, если давление на входе клапана больше давления на выходе.

Рассмотренную конструкцию называют двухлинейной (рисунок 4.14, а), т.к. к клапану подходят две линии: линия входа (высокое давление в магистрали) и линия выхода (давление у потребителя, пониженное до необходимого уровня). Условное графическое обозначение двухлинейного редукционного клапана отражает принцип его функционирования: редукционный клапан нормально открыт и «отслеживает» давление «за собой».

Настраивают клапан на определенное значение выходного давления, изменяя степень поджатия нагрузочной пружины 3 путем поворота регулировочного винта 2. Для этого рукоятку 1 переводят в верхнее положение и тем самым выводят ее из шлицевого зацепления с корпусом. После настройки рукоятку возвращают в прежнее положение. Давление настройки редукционного клапана контролируется манометром, подключенным к выходному каналу через отверстие 6.

Трехлинейный редукционный клапан (рисунок 4.14, б) отличается по конструкции от двухлинейного только тем, что в центральной части мембраны выполнен дополнительный канал 9, корпус которого образует в совокупности с толкателем клапан сброса.

Функционирует трехлинейный клапан аналогично двухлинейному. Отличие заключается в том, что при повышении давления на выходе сверх давления настройки мембранный узел перемещается вверх до тех пор, пока не откроется клапан сброса. В результате часть сжатого воздуха (избыточное давление) через клапан сброса и отверстие 8 в верхней части корпуса выводится в атмосферу и давление на выходе редукционного клапана снижается до величины, определяемой настройки нагрузочной пружины. Можно сказать, что в описанном случае редукционный клапан работает в режиме предохранительного клапана.

Дополнительные функциональные возможности трехлинейного клапана по сравнению с двухлинейным отражены в его условном графическом обозначении. Двусторонняя стрелка указывает на то, что сжатый воздух может протекать через клапан в обоих направлениях, причем в обратном направлении – через дополнительный канал выхода (третья линия).

В ряде случаев для уменьшения габаритов установок целесообразно перейти на работу с давлением, уровень которого выше, чем в заводской сети. С этой целью применяют усилители давления.

Подача сжатого воздуха в пневматические системы технологического оборудования в момент их подключения к сети сопровождается внезапным повышением давления, в результате возникают повышенные ударные нагрузки. Для обеспечения плавного повышения давления в пневмосистемах до заданного уровня применяют специальные блоки плавного повышения давления. Часто такие блоки монтируют в составе блоков подготовки воздуха.

Рассмотренные выше элементы силовой части пневмоприводов не являются пневматическими САУ. Чтобы система управления была названа автоматической, необходима возможность управления исполнительными механизмами без участия человека. Управляющая часть замкнутой САУ состоит из двух подсистем: информационной и логико-вычислительной.

Предохранительный клапан

Предохранительный клапан ограничивает уровень давления сжатого воздуха, подводимого к каналу Р и воздействующего на подпружиненную мембрану 1 (рисунок 4.15), в жестком центре которой установлен тарельчатый клапан 2, перекрывающий проход к каналу R. Когда давление становится достаточным для преодоления усилия пружин, клапан открывается, пропуская сжатый воздух в канал R.

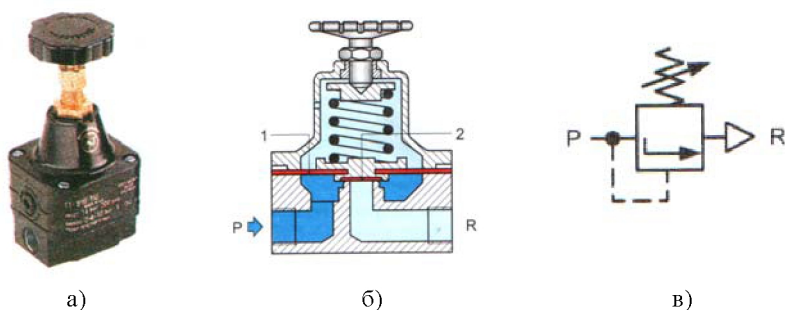


Рисунок 4.15 - Предохранительный пневмоклапан:

а) внешний вид; б) конструктивная схема; в) условное обозначение;

P, R – каналы;

1 – подпружиненная мембрана;

2 – тарельчатый клапан

Кроме описанных выше клапанов давления с ручкой настройкой уровня контролируемого давления существуют также клапаны давления с внешним дистанционным управлением.

Управление может быть:

- 1) механическим – уровень давления зависит от положения некоторого технологического объекта, с которым орган управления клапаном связан кинематически;
- 2) пневматическим – уровень контролируемого давления задается значением давления в некоторой точке пневматической системы;

3) пропорциональным – клапан регулирует давление пропорционально заданной силе тока или напряжению.

Клапаны с пропорциональным управлением являются наиболее универсальными с точки зрения возможностей автоматизации управления сложными технологическими объектами, поскольку позволяют в соответствующий аналоговый электрический сигнал 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.

Регуляторы давления газа

Автоматические регуляторы давления, управляемые только энергией подводимого к ним рабочего тела, без использования постороннего дополнительного источника энергии, называются регуляторами давления прямого действия, в которых не используется дополнительный источник энергии.

Регуляторы прямого действия, снижающие давление поступающего в них газа до заданного значения, принято называть редукторами давления газа. Входное давление редуктора обычно существенно превышает выходное и меняется в широких пределах. Иногда редукторы называют регуляторами «за собой» в отличие от предохранительных клапанов, именуемых регуляторами «до себя».

Таким образом, редукторы давления газа представляют собой устройства, предназначенные для понижения давления газа, подводимого к их входу, и автоматического поддержания заданного давления на выходе редуктора при изменении входного давления, расхода и температуры газа.

Давление после редуктора p_p (выходное или редуцированное) является регулируемым параметром, а сам редуктор – автоматиче-

ским регулятором давления, у которого и давление на входе p_v , и температура T , и расход газа m являются входными параметрами.

В редукторе любой конструкции сущность процесса одна и та же: регулирующим органом создается регулируемая щель, при прохождении через которую давление газа падает – газ дросселируется.

Дросселирование – необратимый процесс, при котором энтропия газа возрастает. При этом газ внешней работы не совершает. Характер истечения газа зависит от отношения давления за щелью p_p' к давлению перед щелью p_v' : p_p'/p_v' .

При $p_p'/p_v' < \beta$, где $\beta = \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$ – критическое отношение

давлений, скорость газа в дросселирующей щели имеет критическое значение, равное местной скорости звука, а давление в минимальном сечении дросселирующей щели p_m определяется из выражения $p_m = \beta \cdot p_v'$ независимо от давления на выходе; κ – показатель адиабаты газа. Такой характер истечения называется надкритическим или закритическим. При $p_p'/p_v' \geq \beta$ давление в дросселирующей щели p_m близко к давлению на выходе редуктора. Такое истечение называется подкритическим или докритическим.

Если в процессе дросселирования теплообмен с окружающей средой отсутствует, то дросселирование называется адиабатическим.

В простейшем редукторе (рисунок 4.16) сжатый газ дросселируется в щели между затвором 1 и неподвижным седлом 2. Далее газ попадает в камеру низкого давления H и через выходной патрубок направляется к потребителю. Значение выходного давления p_p регулируется изменением винтом 5 усилия регулировочной пружины 4.

Газ в камере H воздействует на мембрану 3. Если усилие от давления в камере H превысит силу пружины 4, то мембрана 3 прогнется в сторону пружины и затвор 1 под действием давления на входе и силы вспомогательной пружины 7 приблизится к седлу; площадь дросселирующей щели уменьшится и давление в камере H снизится до заданного. При уменьшении выходного давления ниже обусловленного регулировкой пружины 4 мембрана переместится в другую сторону и толкатель 6 поднимет затвор 1, увеличив площадь дросселирующей щели.

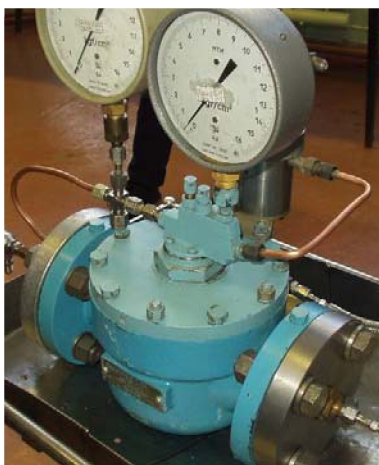
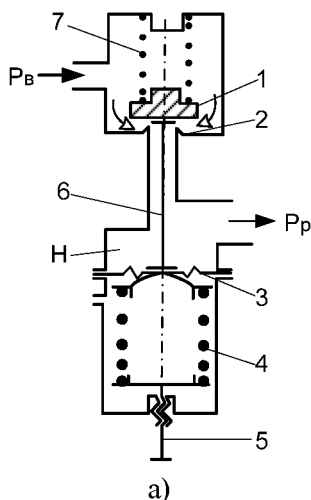


Рисунок 4.16 - Принципиальная схема (а) и внешний вид редуктора давления:

H – камера низкого давления;

P_v – входное давление;

p_p – выходное давление;

1 – затвор;

2 – неподвижное седло;

3 – мембрана;

4 – пружина;

5 – винт;

6 – толкатель;

7 – вспомогательная пружина

Таким образом, в рассматриваемом редукторе давления газа (регуляторе давления прямого действия) чувствительный элемент – (мембрана 3) связан с регулирующим органом – затвором 1 через исполнительный механизм – толкатель 6. Иногда исполнительный механизм, осуществляющий в регуляторе прямого действия связь чувствительного элемента с регулирующим органом, представляет собой довольно сложное механическое (рычажное, винтовое и т.п.) или гидравлическое устройство.

Значение регулируемого параметра – выходного давления редуктора определяется усилием задающего устройства – пружины 4.

Функции основных элементов редуктора давления как частного случая регулятора:

1. Чувствительный элемент любого регулятора – устройство, реагирующее на отклонение регулируемого параметра от заданного значения и передающее возникающее вследствие этого отклонения воздействие (механическое перемещение, изменение напряжения и т.д.) на усилительное устройство, а при его отсутствии – на исполнительный механизм.

На чувствительный элемент редуктора воздействует давление газа после дросселирующей щели. При изменении выходного давления чувствительный элемент перемещается, вследствие чего происходит соответствующее изменение площади дросселирующей щели. В качестве чувствительного элемента редуктора давления используют эластичные, обычно резиновые, мембраны, металлические гофрированные мембраны, сильфоны, а также поршни с манжетами, кольцами и др. Поэтому в практике часто употребляют название «мембранный редуктор», «манжетный редуктор», «сильфонный редуктор» и т.п.

2. Исполнительный механизм любого регулятора – устройство для перестановки регулирующего органа. Он воспринимает воздействие от усилительного устройства или, в случае его отсутствия, от чувствительного элемента и передает его на регулирую-

щий орган. В качестве исполнительного механизма применяют механические, гидравлические, электрические и тому подобные устройства.

В редукторах давления газа исполнительный механизм передает на регулирующий орган перемещение, соответствующее перемещению чувствительного элемента. Отношение перемещения регулирующего органа Δh_x к перемещению чувствительного элемента $\Delta h_{ч.э}$ называется коэффициентом усиления или коэффициентом передачи исполнительного механизма $a_y = \Delta h_x / \Delta h_{ч.э}$.

В общем случае коэффициент усиления (коэффициент передачи) – отношение изменения выходной величины относительно изменения входной.

При непосредственной связи чувствительного элемента с регулирующим органом, что в редукторах давления встречается наиболее часто, $a_y = 1$. В этом случае исполнительный механизм представляет собой простой толкатель. При $a_y \neq 1$ в редукторах давления применяются механические и гидравлические исполнительные механизмы. Такие исполнительные механизмы в подавляющем большинстве случаев уменьшают перемещение регулирующего органа относительно перемещения чувствительного элемента ($a_y < 1$), в результате чего усилие, действующее на регулирующий орган, увеличивается по сравнению с усилием, возникающим на чувствительном элементе. Быстродействие редукторов с $a_y < 1$ ниже, чем имеющих $a_y = 1$.

Редукторы с исполнительным механизмом, у которого $a_y > 1$, встречаются редко. Такие исполнительные механизмы применяются, например, в редукторах с чувствительным элементом в виде металлической мембраны, не допускающей значительных перемещений. В редукторах уравновешенного типа они используются для уменьшения силы, воспринимаемой чувствительным элементом.

3. Регулирующий орган любого регулятора – устройство, осуществляющее изменение подачи рабочего тела или энергии к объ-

екту регулирования. Изменение положения регулирующего органа вызывает соответствующее изменение регулируемого параметра.

При изменении положения регулирующего органа редуктора меняется площадь дросселирующей щели, вследствие чего оказывается воздействие на выходное давление и температуру газа. В качестве регулирующего органа в редукторах применяются различные системы «затвор – седло», «гильза – золотник». Совокупность исполнительного механизма и регулирующего органа называется исполнительным устройством.

4. Задающее устройство служит для введения в регулятор заданного значения регулируемого параметра. Редуктор давления задающим устройством регулируют для получения требуемого значения выходного давления. Задающим устройством в редукторах служит, например, регулировочная пружина.

Некоторые конструкции точных редукторов содержат, кроме перечисленных элементов:

- фильтр, служащий для тонкой очистки газа перед поступлением его в редуктор; иногда для защиты редуктора от посторонних частиц фильтры ставят также на все выходные штуцеры редуктора;
- предохранительный клапан, ограничивающий рост давления за редуктором; этот рост давления может возникнуть при неправильной эксплуатации или неисправности редуктора;
- расходное устройство (жиклер или система жиклеров), создающее небольшую утечку газа в окружающую атмосферу (устанавливают только на точных редукторах специального назначения).

Некоторые виды редукторов изготавливают без предохранительных клапанов или фильтров. Тогда фильтры и предохранительные клапаны устанавливают в магистралях пневмосистемы, в составе которых используют редуктор:

Редукторы давления газа можно классифицировать следующим образом (см. рисунок 4.17):

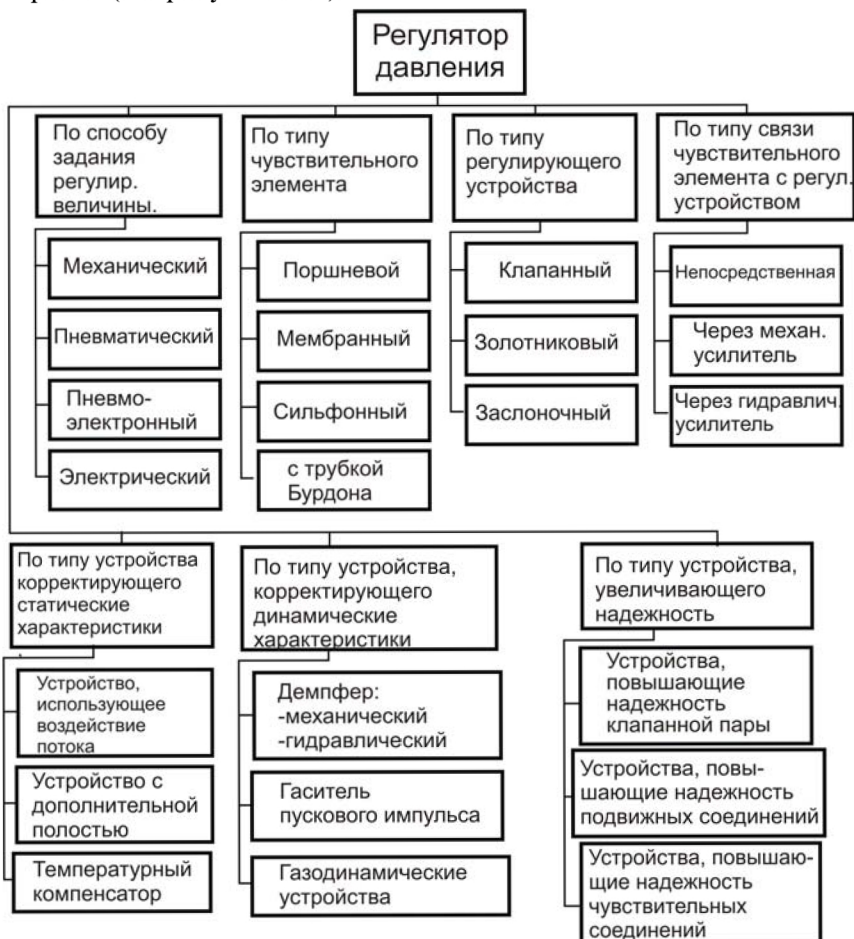


Рисунок 4.17 - Классификация регуляторов

- по уравновешенности: на редукторы уравновешенного типа и неуравновешенного;
- по направлению движения регулирующего органа: на редукторы прямого и обратного хода;

- по виду задающего устройства: на пружинные, пневмоуправляемые и грузовые;
- по числу последовательных ступеней дросселирования: на одноступенчатые и двухступенчатые;
- по конструкции чувствительного элемента: на мембранные, сильфонные и поршневые;
- по конструкции исполнительного механизма: на редукторы с коэффициентом передачи исполнительного механизма $a_y = 1$ (с непосредственной связью регулирующего органа с чувствительным элементом) и на редукторы с $a_y \neq 1$.

Технические требования к редукторам давления газа

При создании новой или использовании существующей конструкции редуктора необходимо обеспечить его соответствие целому ряду требований (параметров).

К таким параметрам, прежде всего, относятся:

- значение выходного (редуцированного) давления p_p ;
- расход газа – объемный $\dot{V}$ (л/с) или массовый $\dot{m}$ (кг/с) при заданном значении выходного давления;
- начальное (максимальное) значение давления на входе в редуктор $p_{в\max}$;
- конечное (минимальное) значение давления на входе в редуктор $p_{в\min}$ или диапазон снижения входного давления $\Delta p_v = p_{в\max} - p_{в\min}$;
- допустимое изменение выходного давления Δp_p , или допустимые отклонения выходного давления от начального значения в сторону возрастания $(+\delta_1 p_p)$ и в сторону снижения $(-\delta_2 p_p)$: $\Delta p_v = p_{в\max} - p_{в\min} = |\delta_1 p_p| + |\delta_2 p_p|$;
- разность между минимальным значением входного давления $p_{в\min}$ и заданным значением выходного давления $p_{в\min} - p_v$ или

отношение минимального входного давления к редуцированному $p_{в\ min} / p_{в}$.

Все перечисленные выше параметры взаимосвязаны: изменение одного параметра у конкретного редуктора неизбежно вызовет изменение других параметров. Так, при увеличении требуемого расхода газа $\dot{V}$ значение выходного давления пружинного редуктора уменьшится; точность поддержания выходного давления при неизменных $p_{в\ max}$ и $p_{в\ min}$ в большинстве случаев ухудшится, т.е. с увеличением расхода увеличится Δp_p и для обеспечения заданной точности редуктора придется уменьшать $\Delta p_{в}$, увеличивать $p_{в\ min} - p_{в}$ и т.д.

Связь этих параметров видна из нагрузочных характеристик редукторов. Нагрузочная характеристика представляет собой зависимость установившегося значения выходного давления p_p (регулируемого параметра) от давления на входе $p_{в}$ при заданном расходе газа (рисунок 4.18). Таким образом, нагрузочная характеристика является статической характеристикой регулятора. При незначительном изменении исходного выходного давления нагрузочная характеристика смещается от оси ординат, но вид кривой практически не изменяется. Нагрузочная характеристика должна быть стабильной в течение всего периода работы редуктора, значение Δp_p не должно превышать допустимого.

Данное методическое пособие было бы недостаточно содержательным без рассмотрения некоторых практических задач, решенных с применением методов и средств пневмоавтоматики.

В этой связи ниже дается приложение с тремя практическими примерами.

В первом - рассмотрена задача автоматизации перемещения деталей с помощью двух пневмоцилиндров. На базе диаграммы «перемещение - шаг» сформирована принципиальная схема управления, которая, в свою очередь, приведена и отлажена в программной среде *Fluid SIM*.

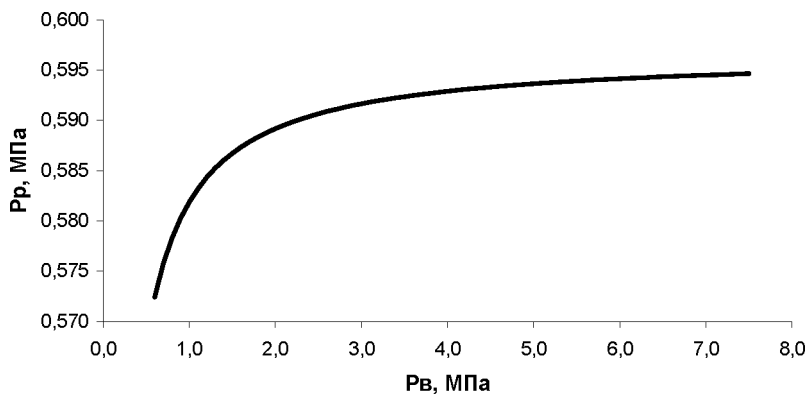


Рисунок 4.18 – Статическая характеристика регулятора давления газа

После чего в аппаратной среде ФЕСТО-ДИДАКТИК реализована и отлажена схема управления, внешний вид которой изображен на рисунке П 4.

В качестве второго примера рассмотрена процедура выбора пневматического распределителя для управления пневмоцилиндром.

В заключительном, третьем примере, приведенном в приложении, дается расчет динамических характеристик двустороннего привода.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ДВУХ ПНЕВМОЦИЛИНДРОВ. КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ В СИСТЕМУ *FLUID SIM*

Fluid SIM - является обучающим инструментом для освоения основ пневматики, который работает с использованием Microsoft WindowsTM. Он может использоваться как в комбинации с учебным оборудованием Festo Didactic GmbH & Co, так и независимо от него.

Основная особенность пакета *Fluid SIM* заключается в его тесной связи с САПР по функциональности и возможностям моделирования. *Fluid SIM* позволяет создавать схемы пневматических цепей и может выполнять реалистическое моделирование полученной схемы, основанное на физических моделях ее составляющих. В итоге исчезает разрыв между получением изображения пневматической цепи на экране компьютера и моделированием пневматической системы, связанной с данной цепью.

Функциональность *Fluid SIM* была специально приспособлена для задач данного типа. Например, в процессе рисования схемы программа будет проверять, является ли определенное соединение компонент допустимым.

Другая особенность состоит в том, что *Fluid SIM* поддерживает накопление, передачу и визуализацию знаний в области пневматики. Пневматические компоненты сопровождаются описаниями, изображениями и фильмами, которые поясняют основополагающие принципы их работы; упражнения и учебные фильмы сообщают информацию о наиболее важных цепях и об использовании пневматических компонентов.

СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ

С НЕСКОЛЬКИМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Для реализации схем с несколькими исполнительными устройствами необходимо четкое понимание существа задачи. Процесс движения отдельных исполнительных элементов должен изображаться на диаграмме «перемещение – шаг» совместно с условиями старта и переключения.

После уточнения циклограммы движения и условий переключения проектируется принципиальная схема. Процесс проектирования и разработки принципиальной схемы должен осуществляться в соответствии с последовательностью, описанной в разделе по составлению диаграмм «перемещение-шаг».

Для реализации на практике необходимы схемы, в которых исключается пересечение (совпадение) сигналов. Здесь под пересечением сигналов понимается их одновременное поступление на оба управляющих входа распределителей с двусторонним управлением. Для устранения пересечения сигналов можно использовать:

- распределители с управлением от ломающегося рычага,
- распределители с управлением от ломающегося рычага с роликом,
- реле времени,
- триггеры (переключающие распределители) или тактовые цепочки.

Для лучшего понимания сущности этих методов ниже приводится пример системы, в которой используются распределители с управлением от ломающегося рычага с роликом.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для перемещения деталей из магазина на лоток используются два цилиндра двустороннего действия (рисунок П 1). При нажатии

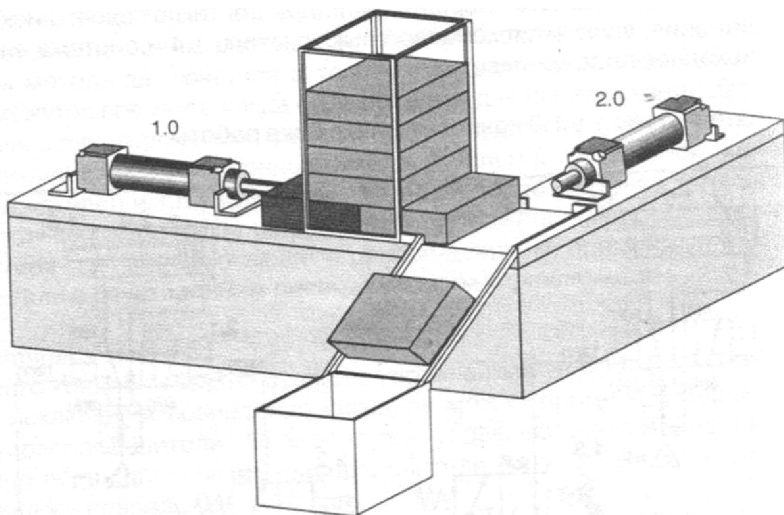


Рисунок П 1 - Общий вид объекта автоматизации

кнопки шток первого цилиндра выдвигается, выталкивая деталь из магазина и перемещая ее в зону действия второго цилиндра, расположенного напротив лотка. Как только шток первого цилиндра полностью выдвинется, выдвигается шток второго цилиндра, сталкивая деталь на лоток, по которому она перемещается в коробку. После этого шток первого, а за ним и второго цилиндров втягиваются.

Для надежной транспортировки деталей должно обеспечиваться координированное (согласованное) движение штоков цилиндров. Для этого проводится опрос достижения штоками цилиндров исходного и всех конечных положений.

РЕШЕНИЕ

Опрос проводится с помощью концевых выключателей, в качестве которых применяются распределители, управляемые от рычага с роликом.

В исходной позиции штоки обоих цилиндров находятся во втянутом положении и, следовательно, концевые выключатели 1.4 и 2.3 включены (рисунок П 2).

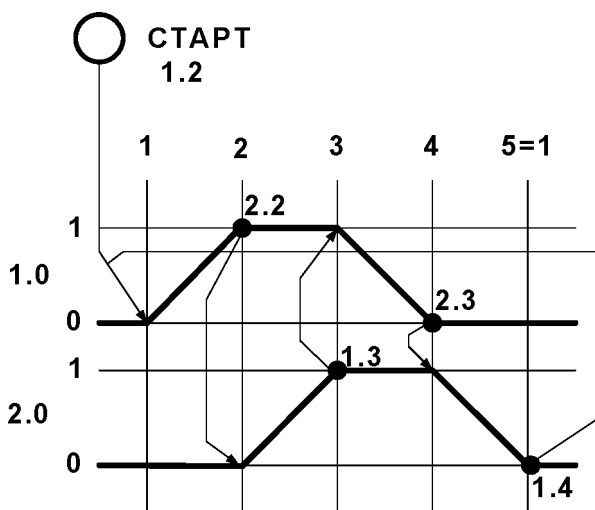


Рисунок П 2 - Диаграмма «Перемещение-шаг»

В качестве условий для старта системы необходимо, чтобы шток цилиндра 1.0 был втянут и поступил сигнал от стартовой кнопки 1.2.

Последовательность движения цилиндров иллюстрируется диаграммой «Перемещение – шаг» и может быть разбита на следующие шаги:

- | | | | |
|-------|--------------------|---|-------------------------|
| Шаг 1 | 1.2 и 1.4 включены | → | Цилиндр 1.0 выдвигается |
| Шаг 2 | 2.2 включен | → | Цилиндр 2.0 выдвигается |
| Шаг 3 | 1.3 включен | → | Цилиндр 1.0 втягивается |
| Шаг 4 | 2.3 включен | → | Цилиндр 2.0 втягивается |
| Шаг 5 | 1.4 включен | → | Исходное положение |

1. После нажатия кнопки 1.2 распределитель с двусторонним управлением 1.1 переключается, шток поршня цилиндра 1.0 выдвигается. Деталь выталкивается из магазина (рисунок П 1 - рисунок П 3).

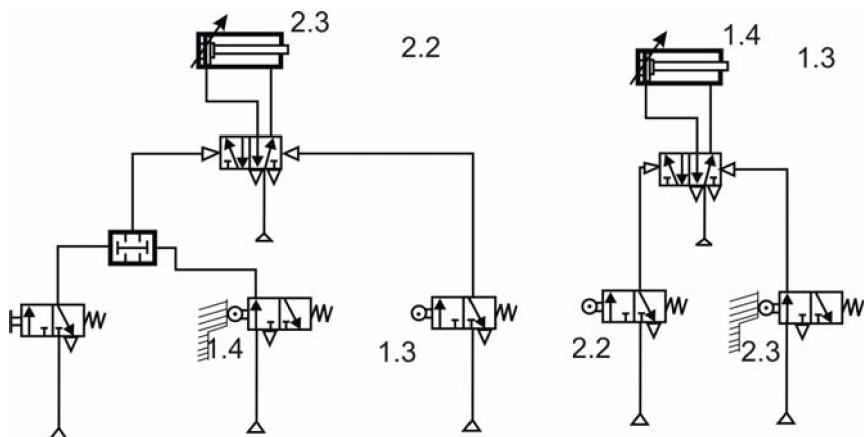


Рисунок П 3 - Принципиальная пневматическая схема системы :
исходное положение

2. При достижении переднего конечного положения штоком цилиндра 1.0 включается концевой выключатель 2.2. Поэтому распределитель с двусторонним управлением 2.1 переключается, и шток цилиндра 2.0 выдвигается. Деталь сталкивается в коробку.
3. При достижении переднего конечного положения штоком цилиндра 2.0 включается концевой выключатель 1.3. Это вызывает переключение управляющего распределителя 1.1 и втягивание штока цилиндра 1.0.
4. Если шток цилиндра 1.0 полностью втянется, то включится концевой выключатель 2.3 и переключится управляющий распределитель 2.1. Шток поршня цилиндра 2.0 втянется и при достижении своего конечного положения включит концевой выключатель 1.4.

5. Только теперь система вновь займет свое исходное положение. При нажатии на кнопку 1.2 может начаться новый цикл работы системы.
6. Вид системы управления двумя цилиндрами, выполненной на базе элементов ФЕСТО-ДИДАКТИК, приведен на рисунке П 4.

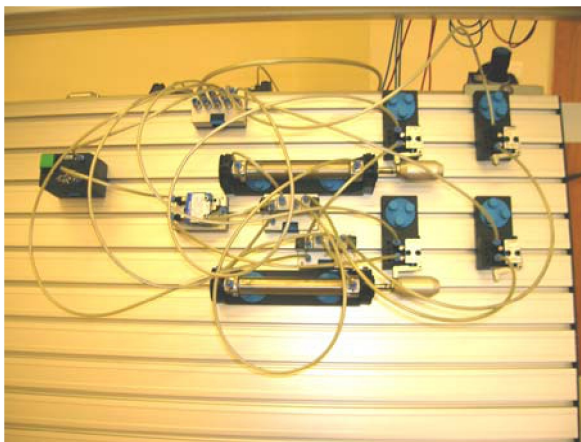


Рисунок П 4 - Вид системы управления, выполненной на базе элементов ФЕСТО-ДИДАКТИК

Контрольные вопросы

1. Сущность рассматриваемой в данной работе задачи по автоматизации технологического процесса.
2. Принципы построения диаграммы «Перемещение – Шаг».
3. Пневматические схемы управления двумя цилиндрами: принципы построения, проверки и моделирования на «*Fluid SIM*».
4. Как собрать и отладить с помощью компонентов «ФЕСТО - ДИДАКТИК» систему управления двумя пневмоцилиндрами?
5. Проверка работоспособности системы управления, собранной из компонентов ФЕСТО-ДИДАКТИК.

Приложение 2

ВЫБОР ПНЕВМОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ

Выбор пневмораспределителя по промышленным каталогам осуществляют на основе предварительного расчета требуемого расхода воздуха Q_{mp} , который должен обеспечить распределитель.

Методика выбора определяется формой представления в каталоге расходной характеристики пневмораспределителя.

1. В промышленном каталоге в качестве расходной характеристики пневмораспределителя приведена величина номинального объемного расхода Q_n^* .

Если распределитель будет эксплуатироваться при манометрическом давлении на входе 6 бар (абсолютном 7 бар) и давлении на выходе 5 бар (абсолютном 6 бар), то по каталогу подбирают распределитель, у которого значение номинального расхода равно требуемому значению Q_{mp} либо незначительно превышает его.

Если предполагается работа с другими значениями давлений, то по каталогу подбирают распределитель, номинальный расход которого не меньше величины

$$Q_k = Q_{mp} \frac{2,45}{\sqrt{(p_{mp1} - p_{mp2})p_{mp2}}},$$

где Q_k - указанный в каталоге номинальный расход выбираемого распределителя ($Q_k = Q_n$), л/мин;

Q_{mp} - требуемый расход, л/мин;

p_{mp1} - абсолютное значение требуемого давления на входе, бар;

p_{mp2} - абсолютное значение требуемого давления на выходе, бар;

Число 2,45 в числителе представляет собой расчетный коэффициент [бар], полученный по формуле

$$\sqrt{(p_{\kappa 1} - p_{\kappa 2})p_{\kappa 2}} = \sqrt{(7 - 6) \cdot 6} = \sqrt{6} \approx 2,45,$$

где $p_{\kappa i}$ - стандартные значения давлений, при которых продувают распределители.

2. В промышленном каталоге расходная характеристика пневмораспределителя задана пропускной способностью K_V или C_V .

По известным значениям требуемого расхода Q_{mp} и давлений сжатого воздуха на входе p_{mp1} и выходе p_{mp2} определяем пропускную способность K_V [м³/ч], которую должен иметь распределитель, по формуле

$$K_V = \frac{Q_{mp}}{C \sqrt{(p_{mp1} - p_{mp2})p_{mp2}}},$$

где C - коэффициент, значение которого (таблица П. 1) зависит от размерностей параметров, входящих в данную формулу (размерность C обратно пропорциональна размерности параметра p_{mp}).

Таблица П.1 – Значения коэффициента C

Размерность Q_{mp}	Размерность p_{mp}		
	бар	МПа	кгс/см ²
м ³ /ч	28,9	289,0	28,3
м ³ /мин	0,481	4,810	0,472
л/мин	481	4810	472

Исходя из вычисленного значения K_V , по каталогу подбирают распределитель, значение пропускной способности которого не меньше расчетного.

Пропускную способность K_V цепи, состоящей из n распределителей (проточных устройств), каждый из которых характеризуется пропускной способностью K_{Vi} , ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), определяют по следующим формулам:

$K_V = K_{V1} + K_{V2} + \dots + K_{Vn}$ - при параллельном соединении;

$\frac{1}{K_V^2} = \frac{1}{K_{V1}^2} + \frac{1}{K_{V2}^2} + \dots + \frac{1}{K_{Vn}^2}$ - при последовательном соединении.

нии.

Между параметрами пропускной способности K_V и C_V имеют место следующие соотношения:

$$C_V = 1,17K_V,$$

где K_V - пропускная способность в $\text{м}^3/\text{ч}$;

C_V - пропускная способность в американских галлонах в минуту.

$$C_V = 0,97K_V,$$

где K_V - пропускная способность в $\text{м}^3/\text{ч}$;

C_V - пропускная способность в английских галлонах в минуту.

Обычно пропускную способность пневмораспределителя выбирают с некоторым запасом, особенно для пневмоцилиндров с торможением в конце хода, которое необходимо при высоких скоростях движения поршня, а также при больших значениях длин соединительных трубопроводов между распределителем и цилиндром.

3. В промышленном каталоге расходная характеристика пневмораспределителя задана серией графиков, отражающих зависимость расхода от перепада давления при различных значениях давления на входе (рисунок П 5).

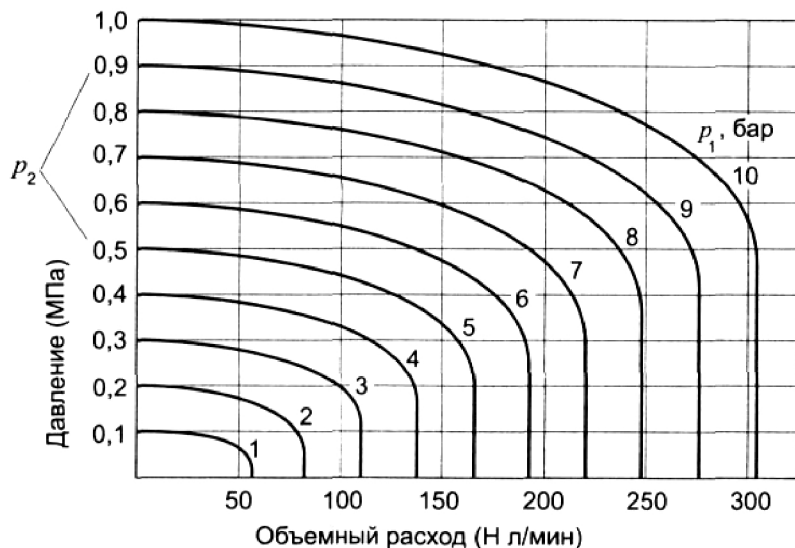


Рисунок П 5 – Пример расходно - перепадной характеристики распределителя

На горизонтальной оси графика отмечается точка, соответствующая значению расхода $Q_{тр}$. Из этой точки проводят вертикальную линию до пересечения с кривой, построенной для требуемого значения давления на входе распределителя p_1 . Перпендикуляр, опущенный из полученной точки пересечения на вертикальную шкалу, определяет значение давления на выходе p_2 .

Выбор пневматического распределителя для управления цилиндром

Задача. Транспортный пневмоцилиндр с диаметром поршня $D=32$ мм должен совершать рабочий ход длиной $L=0,2$ м за время $t=0,4$ с. Подобрать пневматический распределитель для управления

цилиндром при условии, что манометрическое давление питания $p_m=6$ бар.

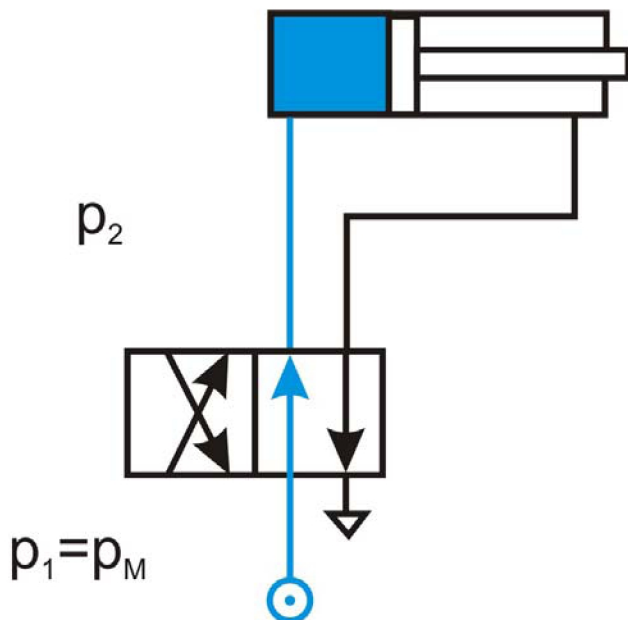


Рисунок П 6 - Схема для выбора распределителя

По известной формуле определяем объемный расход воздуха, потребляемого пневмоцилиндром при прямом ходе:

$$Q = \frac{\pi B^2}{4} v \frac{p_2}{p_{атм}},$$

где v - скорость движения поршня.

В рассматриваемом примере $v = L/t = 0,2/0,4 = 0,5 \text{ м/с}$.

Поскольку потери давления в распределителях обычно составляют 0,2 – 0,8 бар, то примем значение абсолютно давления $p_2=6,5$ бар.

$$Q = \frac{3,14 \times 0,032^2}{4} 0,5 \frac{6,5}{1} = 2,61 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 156,6 \text{ л/мин.}$$

Таким образом, требуется распределитель, обеспечивающий расход воздуха $Q_{mp} \approx 160 \text{ л/мин}$ при значении абсолютного давления питания 7 бар и перепаде давления на нем в 0,5 бар.

Если используется каталог, в котором пропускная способность представлена значениями номинального расхода, то необходимо выбрать распределитель с расходом

$$Q_{\kappa} = Q_{mp} \frac{2,45}{\sqrt{(p_{TP1} - p_{TP2})p_{TP2}}} = 160 \times \frac{2,45}{\sqrt{(7 - 6,5) \times 6,5}} = 217,7 \approx 220 \text{ л/мин}$$

Пропускная способность K_v распределителя не должна быть меньше значения

$$K_v = \frac{Q_{mp}}{C \sqrt{(p_{TP1} - p_{TP2})p_2}} = \frac{160}{481 \sqrt{0,5 \times 6,5}} \approx 0,18 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУСТОРОННЕГО ПРИВОДА

Рассмотрим типовой пневмопривод. Поршень 1 перемещается в рабочем цилиндре 2 под воздействием сжатого воздуха, поступающего попеременно в обе полости цилиндра из магистрали через распределитель 3. В конце хода кулачок, укрепленный на штоке (не показан на чертеже), нажимает на рычаг одного из конечных выключателей 4 и 5. В положении, изображенном на чертеже, поршень перемещается направо, переключая выключатель 4, и когда он займет положение, показанное штриховой линией, конечный выключатель 5 переключится. Сигнал в виде давления сжатого воздуха передается от выключателя на вход распределителя 3, в результате золотник перемещается в правое положение.

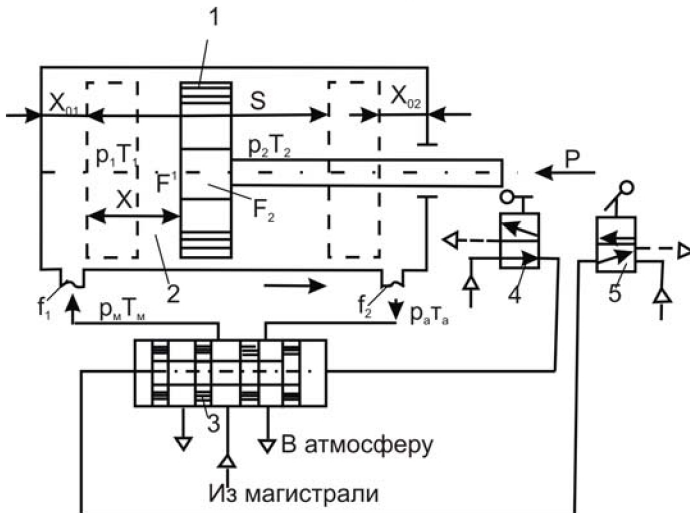


Рисунок П.7 - Поршневой привод двустороннего действия:

- 1 – поршень;
- 2 – рабочий цилиндр;
- 3 – распределитель;
- 4, 5 – выключатели;

Сжатый воздух из магистрали через этот же распределитель направляется в правую полость цилиндра 2 и перемещает поршень 1 влево, при этом распределитель выключается. В конце обратного хода кулачок на штоке нажимает на конечный выключатель 4, снова переключается золотник, и цикл повторяется.

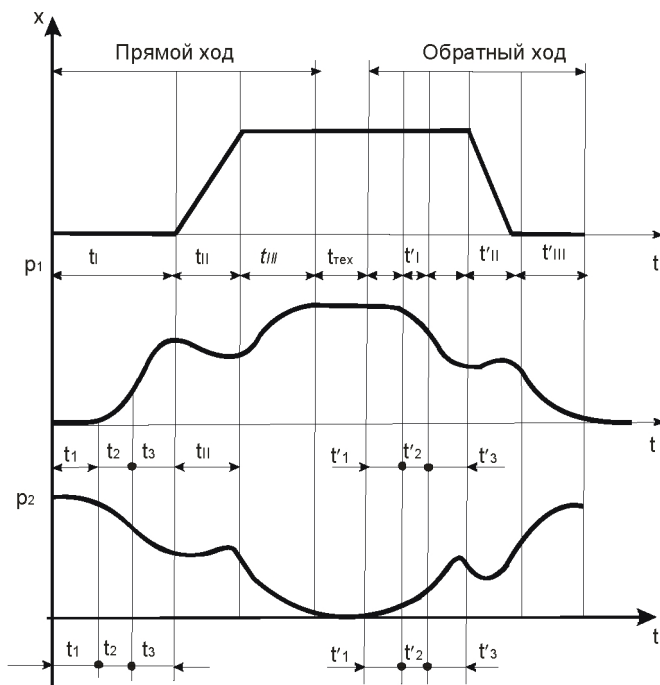


Рисунок П.8 - Циклограмма пневмопривода двустороннего действия

Циклограмма этого привода изображена на рисунок П.8. Для наглядности в нее кроме интервалов времени перемещения и остановки поршня (или центра мембраны) включены также интервалы времени изменения давления в обеих полостях рабочего цилиндра.

Они представлены в виде диаграмм, помещенных ниже обычной циклограммы перемещения – время.

Анализ циклограммы пневмопривода начнем с момента включения управляющего устройства (в данном случае конечного выключателя), из которого выходной сигнал в виде давления сжатого воздуха поступает на вход распределителя.

После срабатывания распределителя воздух из магистрали подается по трубопроводу в полость рабочего цилиндра. Движение сжатого воздуха начинается тотчас же после момента начала открывания отверстия в распределителе. Некоторый период времени оба процесса (открытие отверстия распределителя и распространение волны сжатого воздуха до рабочего цилиндра) происходят одновременно и заканчиваются в разные моменты времени. Для упрощения задач предположим, что волна давления возникает после полного открытия отверстия. При таком допущении не вносится большая погрешность, так как время открытия распределителя у большинства пневмоприводов невелико по сравнению с временем всего рабочего цикла. Вместе с тем, указанное допущение позволяет определить интервалы времени этих процессов: t_1 – время открытия распределителя и t_2 – время распространения волны давления от распределителя до цилиндра.

При повышенных требованиях к точности расчета следует определять оба интервала времени. Кривые давления на циклограммы отражают действительные процессы, так, например, давление в рабочей полости начинает увеличиваться в период открытия распределителя и т.д.

Горизонтальные прямые на верхней диаграмме (см. рисунок П.8) показывают интервалы времени выстоев поршня, а наклонные – интервалы времени его движения. Кривые на нижних диаграммах отражают процессы изменения давления p_1 и p_2 воздуха соответственно в полостях наполнения и опорожнения. Как уже указывалось выше, давление в рабочей полости начинает увеличиваться вскоре после открытия распределителя и этот процесс продолжается до начала движения поршня (интервал времени t_3). В этот же период

времени давление во второй полости уменьшается. Сумма перечисленных интервалов составляет время выстоя поршня t_1 до начала его перемещения.

В период движения поршня (интервал t_{11}) давление монотонно увеличивается (уменьшается) или колеблется в зависимости от соотношения конструктивных параметров устройства. После того как поршень закончит рабочий ход, давление в полости, соединенной с магистралью, увеличивается до значения, требуемого технологическим процессом (интервал t_{111}). Во второй полости давление уменьшается почти до атмосферного. Моменты окончания этих процессов в общем случае не совпадают. После выполнения заданной технологической операции управляющее устройство снова переключается (время технологической операции $t_{\text{техн}}$ не рассматривается). Тогда в той же последовательности начинается обратный ход поршня, причем функции полостей исполнительного устройства меняются.

Период движения поршня пневмоцилиндра двойного действия

На рисунке П.7 первая полость является рабочей, а вторая – выхлопной.

Уравнение движения поршня двустороннего типового пневмопривода (см. рисунок П. 7) имеет следующий вид:

$$m = \frac{d^2 x}{dt^2} = p_1 F_1 - p_2 F_2 - P, \quad (\text{П. 1})$$

где m – масса привода и присоединенных к нему поступательно движущихся частей; x – координата перемещения поршня; p_1, p_2 – давление воздуха в первой и второй полостях; F_1, F_2 – площади торцов поршня.

Значение результирующей всех сил, действующих на поршень, кроме сил давления воздуха, определяется формулой

$$P = P_1 \pm P_2 \pm P_3 \pm p_a F_m, \quad (\text{П. 2})$$

где P_1 – сила трения; P_2 – сила полезного сопротивления; P_3 – вес поршня и присоединенных к нему движущихся частей привода; $F_{ш}$ – площадь сечения штока.

Уравнение (П.1) должно быть решено совместно с уравнениями, характеризующими изменения давления в обеих полостях рабочего цилиндра. Эти уравнения получены без учета теплообмена с окружающей средой и при постоянных параметрах сжатого воздуха в магистрали.

Уравнение для определения давления p_1 в рабочей полости 1 может быть получено из уравнения

$$kRT_m dm_m = V dp_1 + k p dV \quad (\text{П.3})$$

после подстановки в него $dm_m = G_m dt$ и значения G_i из формулы

$$G_m = \mu_1 f_1 p_m \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{1}{RT_m} \left[\left(\frac{p_1}{p_m} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_1}{p_m} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$$

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{k f_1^3 K p_m \sqrt{RT_m}}{F_1 (x_{01} + x)} \phi(\sigma_1) - \frac{k p_1}{(x_{01} + x)} \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (\text{П.4})$$

где $\sigma_1 = p_1/p_i$; $K = [2gk/(k-1)]^{1/2}$; $x_{01} = V_{01}/F_1$;

$f_1^2 = \mu_1 f_1$ – эффективная площадь входного отверстия; μ_1 – коэффициент расхода подводящей линии; f_1 – площадь входного отверстия; x_{01} – приведенная начальная координата положения поршня; V_{01} – начальный объем значения рабочей полости.

В уравнении (П.4) значения расхода $\phi(\sigma_1)$ равны, так же как в предыдущей лекции: $\phi(\sigma) = \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}}$ при $0,528 < \sigma < 1$;
 $\phi(\sigma) = 0,2588$ при $0 < \sigma < 0,528$.

При определении начальной координаты положения поршня необходимо учитывать не только начальный объем полости (так

называемое вредное пространство), но и объем трубопровода от распределителя до рабочего цилиндра.

Уравнение для определения давления p_2 в выхлопной полости, полученное из уравнения

$$-kRT_m dm_m = V dp_1 + k p dV, \quad (\text{П.5})$$

при подстановке в него $dm = G dt$ и G из формулы), будет отличаться от уравнения (П.4) не только знаками его членов и координатами положения поршня, но и тем, что в него входит переменная температура T_2 в выхлопной полости вместо постоянной T_m :

$$\frac{dp_2}{dt} = -\frac{k f_2^3 p_2 K \sqrt{RT_2}}{F_2(s + x_{02} - x)} \varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right) + \frac{k p_2}{s + x_{02} - x} \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (\text{П.6})$$

$$\text{где } \sigma_2 = \frac{p_2}{p_m}; x_{02} = \frac{V_{02}}{F_1}; f_2^3 = \mu_2 f_2.$$

Значения функции расхода $\varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right)$ такое же.

Температура T_2 в уравнении (П.6) может быть выражена через давление p_2 по формуле

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}}, \text{ поскольку в выхлопной полости при отсутст-}$$

вии теплообмена протекает адиабатический процесс.

Совместное решение системы уравнений (П.1), (П.4) и (П.6) возможно только с помощью численных методов интегрирования. Шаг интегрирования выбирается в зависимости от требуемой точности расчета. Чем меньше значение этого интервала времени, тем точнее расчет, но требуется большее машинное время.

Контрольные вопросы

1. Требования, предъявляемые к пневмоприводам.
2. Структура пневматических приводов.
3. Энергообеспечивающая подсистема.
4. Типы компрессоров.
5. Устройство очистки и осушки сжатого воздуха.
6. Твердые загрязнители.
7. Блоки подготовки воздуха.
8. Исполнительная подсистема.
9. Пневматические моторы.
10. Классификация пневматических двигателей
11. Пневмодвигатели вращательного действия
12. Шестеренные пневмомоторы.
13. Радиально-поршневые пневмомоторы.
14. Турбинные пневмомоторы.
15. Поворотные пневматические двигатели.
16. Пневматические цилиндры.
17. Пневмоцилиндры одностороннего действия.
18. Пневмоцилиндры двустороннего действия.
19. Расчет динамических характеристик двустороннего пневмопривода.
20. Направляющая и регулирующая подсистема.
21. Пневматические распределители.
22. Запорные элементы.
23. Устройства регулирования расхода.
24. Устройства регулирования давления.
25. Классификация регуляторов давления.
26. Предохранительные клапаны.
27. Двухлинейные и трехлинейные редукционные клапаны.
28. Выбор пневматических распределителей.
29. Регуляторы давления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арзуманов Э.С. Гидравлические регулирующие органы систем автоматического управления. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
2. Эдельман А.И. Редукторы давления газа. – М.: Машиностроение, 1980. – 167 с.
3. Арзуманов Ю.Л., Петров Р.А., Халатов Е.М. Системы газоснабжения и устройства пневмоавтоматики ракетно-космических комплексов. – М.: Машиностроение, 1997. – 464 с.
4. Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. – Машиностроение, 1985. – 256 с.
5. Наземцев А.С. Гидравлические и пневматические системы. Ч 1. Пневматические приводы и средства автоматизации: Учеб. пособие. – М.: ФОРУМ, 2004. – 240 с.
6. Беляев Н.М., Уваров Е.И., Степанчук Ю.М. Пневмогидравлические системы. Расчет и проектирование: Учеб. пособие для технических вузов. – М.: Высшая школа, 1988. – 271с.
7. Изжеуров Е.А. Формирование элементов конструкций гидродинамического тракта энергетических установок из упругого пористого материала МР - М.: Машиностроение, 2001. – 286 с.
8. Кроссер П., Эбель Ф. Пневмоавтоматика. D – 73734 Esslingen, 1997: 228 с.

Учебное издание

***Быстров Николай Дмитриевич,
Иголкин Александр Алексеевич,
Илюхин Владимир Николаевич,
Петренко Станислав Александрович,
Шахматов Евгений Владимирович.***

Пневмопривод и средства автоматики

Учебное пособие

Технический редактор *А.Н. Тихонов*
Редакторская обработка *Н.В. Прядильникова*
Корректорская обработка *И.И. Проломова*
Доверстка *О.Ю. Дьяченко*

Подписано в печать 28.12.06. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 6,5. Усл. кр.-отт. 6,6. Печ. л. 7,0 .

Тираж 50 экз. Заказ . ИП – 46/2006

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.