

Введение

В условиях возрастающих требований к технике, связанных с повышением скоростей движения, быстродействия, экономичности, экологичности и пожаровзрывобезопасности, пневматический привод (ПП), наряду с электрическими и гидравлическими приводами является эффективным техническим средством автоматизации и механизации процессов и машин. Так в современном технологическом оборудовании ведущих зарубежных фирм более 40% оснащены автоматизированным пневмопривода (упаковочные машины до 90%, сварочные и литейные машины до 70%, робототехника до 60%, кузнечно-прессовые машины до 45% деревообрабатывающие станки, пищевое оборудование до 30%).

В металлообработке АПП наиболее перспективны в зажимных, фиксирующих, ориентирующих и транспортирующих, сборочных, контрольно-измерительных устройствах, что позволяет ограничить или исключить участие оператора в тяжелых и монотонных операциях. При этом производительность труда такого оборудования увеличивается в 1.5 – 4 раза.

Характерной особенностью развития АПП является применение пневматических устройств не только для решения силовых задач, но и в системах управления для программирования, контроля и управления рабочими процессами машин и агрегатов. Использование единого энергоносителя – сжатого воздуха в силовом и управляющем каналах АПП приближает его к электрическим приводам, но расширяет возможности применения.

Пневматический привод

Общие сведения о применении газов в технике

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 устройства начали применять еще в глубокой древности (ветряные двигатели, музыкальные инструменты, кузнечные меха и пр.), но самое широкое распространение они получили вследствие создания надежных источников пневматической энергии - нагнетателей, способных придавать газам необходимый запас потенциальной и (или) кинетической энергии.

Пневматический привод, состоящий из комплекса устройств для приведения в действие машин и механизмов, является далеко не единственным направлением использования воздуха (в общем случае газа) в технике и жизнедеятельности человека. В подтверждение этого положения кратко рассмотрим основные виды пневматических систем, отличающихся как по назначению, так и по способу использования газообразного вещества.

По наличию и причине движения газа все системы можно разделить на три группы.

К первой группе отнесем системы с ***естественной конвекцией*** (циркуляцией) газа (чаще всего воздуха), где движение и его направление обусловлено градиентами температуры и плотности природного характера, например, ат-

мосферная оболочка планеты, вентиляционные системы помещений, горных выработок, газоходов и т.п.

Ко второй группе отнесем системы с *замкнутыми камерами*, не сообщаемися с атмосферой, в которых может изменяться состояние газа вследствие изменения температуры, объема камеры, наддува или отсасывания газа. К ним относятся различные аккумулирующие емкости (пневмобаллоны), пневматические тормозные устройства (пневмобуферы), всевозможные эластичные надувные устройства, пневмогидравлические системы топливных баков летательных аппаратов и многие другие. Примером устройств с использованием вакуума в замкнутой камере могут быть пневмозахваты (пневмоприсоски), которые наиболее эффективны для перемещения штучных листовых изделий (бумага, металл, пластмасса и т.п.) в условиях автоматизированного и роботизированного производства.

К третьей группе следует отнести такие системы, где используется энергия *предварительно сжатого газа* для выполнения различных работ. В таких системах газ перемещается по магистралям с относительно большой скоростью и обладает значительным запасом энергии. Они могут быть *циркуляционными* (замкнутыми) и *бесциркуляционными*. В циркуляционных системах отработавший газ возвращается по магистралям к нагнетателю для повторного использования (как в гидроприводе). Применение систем весьма специфично, например, когда недопустимы утечки газа в окружающее пространство или 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, фреоны и др.).

В бесциркуляционных системах газ может быть использован потребителем как химический реагент (например, в сварочном производстве, в химической

промышленности) или как источник пневматической энергии. В последнем случае в качестве энергоносителя обычно служит воздух. Выделяют три основных направления применения сжатого воздуха.

К первому направлению относятся технологические процессы, где воздух выполняет непосредственно операции обдувки, осушки, распыления, охлаждения, вентиляции, очистки и т.п. Очень широкое распространение получили системы пневмотранспортирования по трубопроводам, особенно в легкой, пищевой, горнодобывающей отраслях промышленности. Штучные и кусковые материалы транспортируются в специальных сосудах (капсулах), а пылевидные в смеси с воздухом перемещаются на относительно большие расстояния аналогично текучим веществам.

Второе направление - использование сжатого воздуха в пневматических системах управления (ПСУ) для автоматического управления технологическими процессами (системы пневмоавтоматики). Это направление получило интенсивное развитие с 60-х годов благодаря созданию универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА). Широкая номенклатура УСЭППА (пневматические датчики, переключатели, преобразователи, реле, логические элементы, усилители, струйные устройства, командопараты и т.д.) позволяет реализовать на ее базе релейные, аналоговые и аналого-релейные схемы, которые по своим параметрам близки к электротехническим системам. Благодаря высокой надежности они широко используются для циклового программного управления различными машинами, роботами в крупносерийном производстве, в системах управления движением мобильных объектов.

Третьим направлением применения пневмоэнергии, наиболее масштабным по мощности, является пневматический привод, который в научном плане является одним из разделов общей механики машин. У истоков теории пнев-

матических систем стоял И.И. Артоболевский. Он был руководителем Института машиноведения (ИМАШ) в Ленинграде, где под его руководством в 40 - 60-х годах систематизировались и обобщались накопленные сведения по теории и проектированию пневмосистем. Одной из первых работ по теории пневмосистем была статья А.П. Германа "Применение сжатого воздуха в горном деле", опубликованная в 1933 г., 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. Воцинин, Е.В. Герц, Г.В. Крейнии, А.И. Кудрявцев, В.А. Марутов, В.И. Мостков, Ю.А. Цейтлин и другие.

Особенности пневматического привода, достоинства и недостатки

Область и масштабы применения пневматического привода обусловлены его достоинствами и недостатками, вытекающими из особенностей свойств воздуха. В отличие от жидкостей, применяемых в гидроприводах, воздух, как и все газы, обладает высокой сжимаемостью и малой плотностью в исходном атмосферном состоянии (около $1,25 \text{ кг/м}^3$), значительно меньшей вязкостью и большей текучестью, причем его вязкость существенно возрастает при повышении температуры и давления. Отсутствие смазочных свойств воздуха и наличие некоторого количества водяного пара, который при интенсивных термодинамических процессах в изменяющихся объемах рабочих камер пневмомашин может конденсироваться на их рабочих поверхностях, препятствует использованию воздуха без придания ему дополнительных смазочных свойств и влагопонижения. В связи с этим в пневмоприводах имеется потребность кондиционирования воздуха, т.е. придания ему свойств, обеспечивающих работоспособность и продляющих срок службы элементов привода.

С учетом вышеописанных отличительных особенностей воздуха рассмотрим достоинства пневмопривода в сравнении с его конкурентами - гидро- и электроприводом.

1. *Простота конструкции и технического обслуживания.* Изготовление деталей пневмомашин и пневмоаппаратов не требует такой высокой точности изготовления и герметизации соединений, как в гидроприводе, т.к. возможные утечки воздуха не столь существенно снижают эффективность работы и КПД системы. Внешние утечки воздуха экологически безвредны и относительно легко устраняются. Затраты на монтаж и обслуживание пневмопривода несколько меньше из-за отсутствия возвратных пневмолиний и применения в ряде случаев более гибких и дешевых пластмассовых или резиновых (резинотканевых) труб. В этом отношении пневмопривод не уступает электроприводу. Кроме того, пневмопривод не требует специальных материалов для изготовления деталей, таких как медь, алюминий и т.п., хотя в ряде случаев они используются исключительно для снижения веса или трения в подвижных элементах.

2. *Пожаро- и взрывобезопасность.* Благодаря этому достоинству пневмопривод не имеет конкурентов для механизации работ в условиях, опасных по воспламенению и взрыву газа и пыли, например в шахтах с обильным выделением метана, в некоторых химических производствах, на мукомольных предприятиях, т.е. там, где недопустимо искрообразование. Применение гидропривода в этих условиях возможно только при наличии централизованного источника питания с передачей гидроэнергии на относительно большое расстояние, что в большинстве случаев экономически нецелесообразно.

3. *Надежность работы в широком диапазоне температур, в условиях пыльной и влажной окружающей среды.* В таких условиях гидро- и электропривод требуют значительно больших затрат на эксплуатацию, т.к. при темпера-

турных перепадах нарушается герметичность гидросистем из-за изменения зазоров и изолирующих свойств электротехнических материалов, что в совокупности с пыльной, влажной и нередко агрессивной окружающей средой приводит к частым отказам. По этой причине пневмопривод является единственным надежным источником энергии для механизации работ в литейном и сварочном производстве, в кузнечно-прессовых цехах, в некоторых производствах по добыче и переработке сырья и др. Благодаря высокой надежности пневмопривод часто используется в тормозных системах мобильных и стационарных машин.

4. *Значительно больший срок службы*, чем гидро- и электропривода. Срок службы оценивают двумя показателями надежности: гамма-процентной наработкой на отказ и гамма-процентным ресурсом. Для пневматических устройств циклического действия ресурс составляет от 5 до 20 млн. циклов в зависимости от назначения и конструкции, а для устройств нециклического действия около 10-20 тыс. часов. Это в 2 - 4 раза больше, чем у гидропривода, и в 10-20 раз больше, чем у электропривода.

5. *Высокое быстродействие*. Здесь имеется в виду не скорость передачи сигнала (управляющего воздействия), а реализуемые скорости рабочих движений, обеспечиваемых высокими скоростями движения воздуха. Поступательное движение штока пневмоцилиндра возможно до 15 м/с и более, а частота вращения выходного вала некоторых пневмомоторов (пневмотурбин) до 100 000 об/мин. Это достоинство в полной мере реализуется в приводах циклического действия, особенно для высокопроизводительного оборудования, например в манипуляторах, прессах, машинах точечной сварки, в тормозных и фиксирующих устройствах, причем увеличение количества одновременно срабатывающих пневмоцилиндров (например в многоместных приспособлениях для зажима деталей) практически не снижает время срабатывания. Большая скорость вращательного движения используется в приводах сепара-

торов, центрифуг, шлифовальных машин, бормашин и др. Реализация больших скоростей в гидроприводе и электроприводе ограничивается их большей инерционностью (масса жидкости и инерция роторов) и отсутствием демпфирующего эффекта, которым обладает воздух.

6. Возможность передачи пневмоэнергии на относительно большие расстояния по магистральным трубопроводам и снабжение сжатым воздухом многих потребителей. В этом отношении пневмопривод уступает электроприводу, но значительно превосходит гидропривод, благодаря меньшим потерям напора в протяженных магистральных линиях. Электрическая энергия может передаваться по линиям электропередач на многие сотни и тысячи километров без ощутимых потерь, а расстояние передачи пневмоэнергии экономически целесообразно до нескольких десятков километров, что реализуется в пневмосистемах крупных горных и промышленных предприятий с централизованным питанием от компрессорной станции.

Известен опыт создания городской компрессорной станции в 1888 г. одним из промышленников в Париже. Она снабжала заводы и фабрики по магистралям протяженностью 48 км при давлении 0,6 МПа и имела мощность до 18500 кВт. С появлением надежных электропередач ее эксплуатация стала невыгодной.

Максимальная протяженность гидросистем составляет около 250-300 м в механизированных комплексах шахт для добычи угля, причем в них используется обычно менее вязкая водно-масляная эмульсия.

7. Отсутствие необходимости в защитных устройствах от перегрузки давлением у потребителей. Требуемый предел давления воздуха устанавливается общим предохранительным клапаном, находящимся на источниках пневмоэнергии. Пневмодвигатели могут быть полностью заторможены без опасности повреждения и находиться в этом состоянии длительное время.

8. *Безопасность для обслуживающего персонала* при соблюдении общих правил, исключающих механический травматизм. В гидро- и электроприводах возможно поражение электрическим током или жидкостью при нарушении изоляции или разгерметизации трубопроводов.

9. *Улучшение проветривания рабочего пространства* за счет отработанного воздуха. Это свойство особенно полезно в горных выработках и помещениях химических и металлообрабатывающих производств.

10. *Нечувствительность к радиационному и электромагнитному излучению.* В таких условиях электрогидравлические системы практически непригодны. Это достоинство широко используется в системах управления космической, военной техникой, в атомных реакторах и т.п.

Несмотря на вышеописанные достоинства, применяемость пневмопривода ограничивается в основном экономическими соображениями из-за больших потерь энергии в компрессорах и пневмодвигателях, а также других недостатков, описанных ниже.

1. *Высокая стоимость пневмоэнергии.* Если гидро- и электропривод имеют КПД, соответственно, около 70 % и 90 %, то КПД пневмопривода обычно 5-15 % и очень редко до 30 %. Во многих случаях КПД может быть 1 % и менее. По этой причине пневмопривод не применяется в машинах с длительным режимом работы и большой мощности, кроме условий, исключающих применение электроэнергии (например, горнодобывающие машины в шахтах, опасных по газу).

2. *Относительно большой вес и габариты пневмомашин* из-за низкого рабочего давления. Если удельный вес гидромашин, приходящийся на единицу мощности, в 5-10 раз меньше веса электромашин, то пневмомашины имеют примерно такой же вес и габариты, как последние.

3. *Трудность обеспечения стабильной скорости движения* выходного звена при переменной внешней нагрузке и его фиксации в промежуточном положении. Вместе с тем мягкие механические характеристики пневмопривода в некоторых случаях являются и его достоинством.

4. *Высокий уровень шума*, достигающий 95-130 дБ при отсутствии средств для его снижения. Наиболее шумными являются поршневые компрессоры и пневмодвигатели, особенно пневмомолоты и другие механизмы ударно-циклического действия. Наиболее шумные гидроприводы (к ним относятся приводы с шестеренными машинами) создают шум на уровне 85-104 дБ, а обычно уровень шума значительно ниже, примерно как у электромашин, что позволяет работать без специальных средств шумопонижения.

5. Малая скорость передачи сигнала (управляющего импульса), что приводит к запаздыванию выполнения операций. Скорость прохождения сигнала равна скорости звука и, в зависимости от давления воздуха, составляет примерно от 150 до 360 м/с. В гидроприводе и электроприводе, соответственно, около 1000 и 300 000 м/с.

Перечисленные недостатки могут быть устранены применением комбинированных пневмоэлектрических или пневмогидравлических приводов.

Течение воздуха

Инженерные расчеты пневмосистем сводятся к определению скоростей и расходов воздуха при наполнении и опорожнении резервуаров (рабочих камер двигателей), а также с его течением по трубопроводам через местные сопротивления. Вследствие сжимаемости воздуха эти расчеты значительно сложнее, чем расчеты гидравлических систем, и в полной мере выполняются только для особо ответственных случаев. Полное описание процессов течения воздуха можно найти в специальных курсах газодинамики.

Основные закономерности течения воздуха (газа) такие же, как и для жидкостей, т.е. имеют место *ламинарный* и *турбулентный* режимы течения, установившийся и неуставившийся характер течения, равномерное и неравномерное течение из-за переменного сечения трубопровода и все остальные кинематические и динамические характеристики потоков. Вследствие низкой вязкости воздуха и относительно больших скоростей режим течения в большинстве случаев турбулентный.

Для промышленных пневмоприводов достаточно знать закономерности установившегося характера течения воздуха. В зависимости от интенсивности теплообмена с окружающей средой расчеты параметров воздуха выполняются с учетом вида термодинамического процесса, который может быть от изотермического (с полным теплообменом и выполнением условия $T = \text{const}$) до адиабатического (без теплообмена).

При больших скоростях исполнительных механизмов и течении газа через сопротивления процесс сжатия считается адиабатическим с показателем адиабаты $k = 1,4$. В практических расчетах показатель адиабаты заменяют на показатель политропы (обычно принимают $n = 1,3 \dots 1,35$), что позволяет учесть потери, обусловленные трением воздуха, и возможный теплообмен.

В реальных условиях неизбежно происходит некоторый теплообмен между воздухом и деталями системы и имеет место так называемое политропное изменение состояния воздуха. Весь диапазон реальных процессов описывается уравнениями этого состояния

$$pV^n = \text{const}$$

где n - показатель политропы, изменяющийся в пределах от $n = 1$ (изотермический процесс) до $n = 1,4$ (адиабатический процесс).

В основу расчетов течения воздуха положено известное уравнение Бернулли движения идеального газа

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

Слагаемые уравнения выражаются в единицах давления, поэтому их часто называют "давлениями":

z - весовое давление;

p - статическое давление;

$\frac{\rho v^2}{2}$ - скоростное или динамическое давление.

На практике часто весовым давлением пренебрегают и уравнение Бернулли принимает следующий вид

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const}$$

Сумму статического и динамического давлений называют полным давлением P_0 . Таким образом, получим

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = P_0$$

При расчете газовых систем необходимо иметь в виду два принципиальных отличия от расчета гидросистем.

Первое отличие заключается в том, что определяется не объемный расход воздуха, а массовый. Это позволяет унифицировать и сравнивать параметры различных элементов пневмосистем по стандартному воздуху ($\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$, $v = 14,9 \text{ м}^2/\text{с}$ при $p = 101,3 \text{ кПа}$ и $t = 20^\circ\text{C}$). В этом случае уравнение расходов записывается в виде

$$Q_{m1} = Q_{m2} \text{ или } v_1 V_1 S_1 = v_2 V_2 S_2$$

Второе отличие заключается в том, что при сверхзвуковых скоростях течения воздуха изменяется характер зависимости расхода от перепада давлений на сопротивлении. В связи с этим существуют понятия подкритического и надкритического режимов течения воздуха. Смысл этих терминов поясняется ниже.

Рассмотрим истечение газа из резервуара через небольшое отверстие при под-
держании в резервуаре постоянного давления (рис.1). Будем считать, что
размеры резервуара настолько велики по сравнению с размерами выходного
отверстия, что можно полностью пренебрегать скоростью движения газа
внутри резервуара, и, следовательно, давление, температура и плотность газа
внутри резервуара будут иметь значения p_0 , ρ_0 и T_0 .

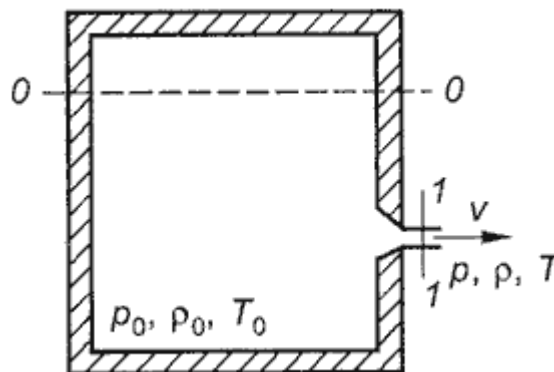


Рис.1- Истечение газа из отверстия в тонкой стенке

Скорость истечения газа можно определять по формуле для истечения не-
сжимаемой жидкости, т.е.

$$v = \sqrt{2gH} = \sqrt{2g \frac{p_0 - p}{\gamma_0}}$$

Массовый расход газа, вытекающего через отверстие, определяем по форму-
ле

$$Q_m = \omega_0 \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_0 \rho_0 \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$$

где ω_0 - площадь сечения отверстия.

Отношение p/p_0 называется степенью расширения газа. Анализ формулы (7) показывает, что выражение, стоящее под корнем в квадратных скобках, обращается в ноль при $p/p_0 = 1$ и $p/p_0 = 0$. Это означает, что при некотором значении отношения давлений массовый расход достигает максимума Q_{max} . График зависимости массового расхода газа от отношения давлений p/p_0 показан на рис.2.

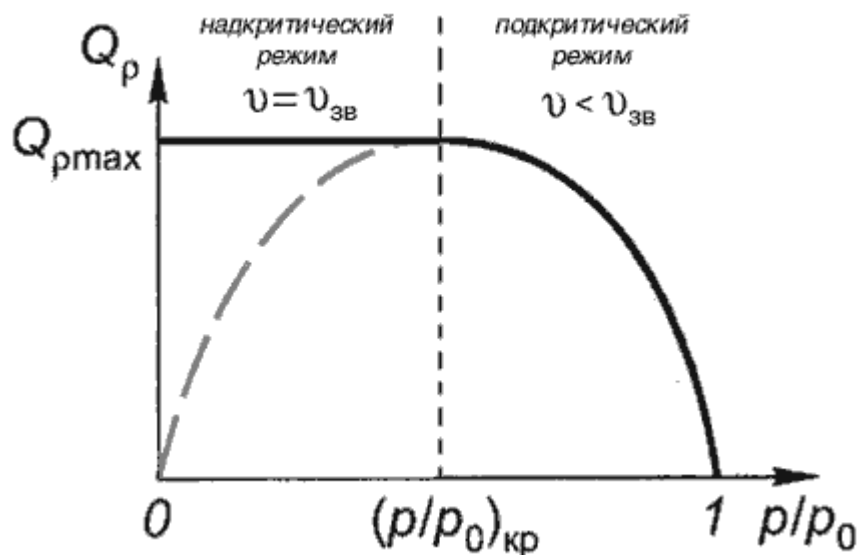


Рис.2-Зависимость массового расхода газа от отношения давлений

Отношение давлений p/p_0 , при котором массовый расход достигает максимального значения, называется критическим. Можно показать, что критическое отношение давлений равно

$$\left(\frac{p}{p_0} \right)_{кр} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Как видно из графика, показанного на рис.2, при уменьшении p/p_0 по сравнению с критическим расход должен уменьшаться (пунктирная линия) и при $p/p_0 = 0$ значение расхода должно быть равно нулю ($Q_m = 0$). Однако в действительности это не происходит.

В действительности при заданных параметрах p_0 , ρ_0 и T_0 расход и скорость истечения будут расти с уменьшением давления вне резервуара p до тех пор, пока это давление меньше критического. При достижении давлением p критического значения расход становится максимальным, а скорость истечения достигает критического значения, равного местной скорости звука. Критическая скорость определяется известной формулой

$$v_{зв} = \sqrt{k \frac{p}{\rho}}$$

После того, как на выходе из отверстия скорость достигла скорости звука, дальнейшее уменьшение противодавления p не может привести к увеличению скорости истечения, так как, согласно теории распространения малых возмущений, внутренний объем резервуара станет недоступен для внешних возмущений: он будет "заперт" потоком со звуковой скоростью. Все внешние малые возмущения не могут проникнуть в резервуар, так как им будет препятствовать поток, имеющий ту же скорость, что и скорость распространения возмущений. При этом расход не будет меняться, оставаясь максимальным, а кривая расхода примет вид горизонтальной линии.

Таким образом, существует две зоны (области) течения:

подкритический режим, при котором

$$\left(\frac{p}{p_0} \right)_{кр} < \left(\frac{p}{p_0} \right) < 1$$

надкритический режим, при котором

$$0 < \left(\frac{p}{p_0} \right) < \left(\frac{p}{p_0} \right)_{кр}$$

В надкритической зоне имеет место максимальная скорость и расход, соответствующие критическому расширению газа. Исходя из этого при определении расходов воздуха предварительно определяют по перепаду давления режим истечения (зону), а затем расход. Потери на трение воздуха учитывают коэффициентом расхода μ , который с достаточной точностью можно вычислить по формулам для несжимаемой жидкости ($\mu = 0,1 \dots 0,6$).

Окончательно скорость и максимальный массовый расход в подкритической зоне, с учетом сжатия струи определяются по формулам

$$v = \varphi \sqrt{\frac{2}{k-1} \frac{p_0}{\rho_0} \left[1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]};$$

$$Q_m = \mu \omega_0 \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_0 \rho_0 \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$$

Подготовка сжатого воздуха

В промышленности используются различные конструкции машин для подачи воздуха под общим названием *воздуходувки*. При создании избыточного давления до 0,015 МПа они называются *вентиляторами*, а при давлении свыше 0,115 МПа - *компрессорами*.

Вентиляторы относятся к лопастным машинам динамического действия и кроме своего основного назначения - проветривания - применяются в пневмотранспортных системах и низконапорных системах пневмоавтоматики.

В пневмоприводах источником энергии служат компрессоры с рабочим давлением в диапазоне 0,4...1,0 МПа. Они могут быть объемного (чаще поршневые) или динамического (лопастные) действия. Теория работы компрессоров изучается в специальных дисциплинах.

По виду источника и способу доставки пневмоэнергии различают *магистральный*, *компрессорный* и *аккумуляторный* пневмопривод.

Магистральный пневмопривод характеризуется разветвленной сетью стационарных пневмолиний, соединяющих компрессорную станцию с цеховыми, участковыми потребителями в пределах одного или нескольких предприятий. Компрессорная станция оборудуется несколькими компрессорными линиями, обеспечивающими гарантированное снабжение потребителей сжатого воздуха с учетом возможной неравномерной работы последних. Это достигается установкой промежуточных накопителей пневмоэнергии (ресиверов) как на самой станции, так и на участках. Пневмолинии обычно резервируются, чем обеспечивается удобство их обслуживания и ремонта. Типовой комплект устройств, входящих в систему подготовки воздуха, показан на принципиальной схеме компрессорной станции (рис.3).

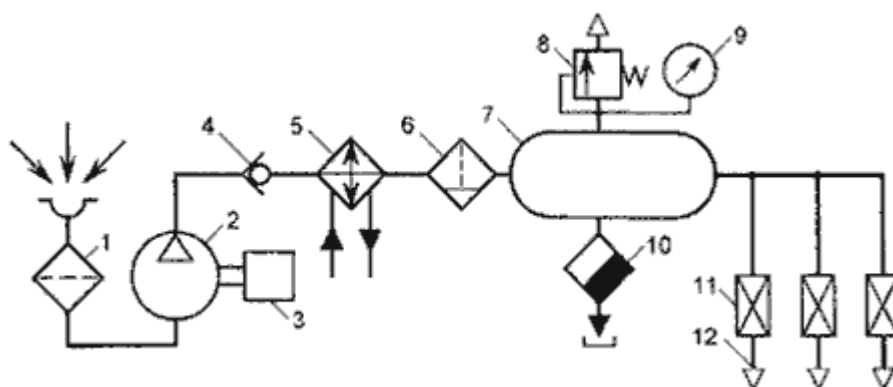


Рис.3-Принципиальная схема компрессорной станции

Компрессор 2 с приводным двигателем 3 всасывает воздух из атмосферы через заборный фильтр 1 и нагнетает в ресивер 7 через обратный клапан 4,

охладитель 5 и фильтр-влагоотделитель 6. В результате охлаждения воздуха водяным охладителем 5 происходит конденсация 70-80 % содержащейся в воздухе влаги, улавливаемой фильтром- влагоотделителем и со 100-процентной относительной влажностью воздух поступает в ресивер 7, который аккумулирует пневмоэнергию и сглаживает пульсацию давления. В нем происходит дальнейшее охлаждение воздуха и конденсация некоторого количества влаги, которая по мере накопления удаляется вместе с механическими примесями через вентиль 10. Ресивер обязательно оборудуется одним или несколькими предохранительными клапанами 8 и манометром 9. Из ресивера воздух отводится к пневмолиниям 12 через краны 11. Обратный клапан 4 исключает возможность резкого падения давления в пневмосети при отключении компрессора.

Компрессорный пневмопривод отличается от вышеописанного магистрального своей мобильностью и ограниченностью числа одновременно работающих потребителей. Передвижные компрессоры наиболее широко используются при выполнении различных видов строительных и ремонтных работ. По комплекту устройств, входящих в систему подготовки воздуха, он практически не отличается от вышеописанной компрессорной станции (водяной охладитель заменяется на воздушный). Подача воздуха к потребителям осуществляется через резиноканавые рукава.

Аккумуляторный пневмопривод ввиду ограниченного запаса сжатого воздуха в промышленности применяется редко, но широко используется в автономных системах управления механизмов с заданным временем действия. На рис.4 показаны несколько примеров аккумуляторного питания пневмосистем.

Для бесперебойной подачи жидкости в гидросистему или топлива в двигатели внутреннего сгорания аппаратов с переменной ориентацией в пространстве применяется наддув бака с жидкостью (рис.4, а) от пневмобаллона 1.

Вытеснение жидкости из бака 5, разделенного мембраной на две части, обеспечивается постоянным давлением воздуха, зависящим от настройки редукционного клапана 3 при включении электроventиля 2. Предельное давление ограничивается клапаном 4.

Система ориентации летательного аппарата (рис.4, б) состоит из управляющих реактивных пневмодвигателей 4, питающихся от шарового пневмобаллона 1 через редукционный клапан 2 и электроventили 3.

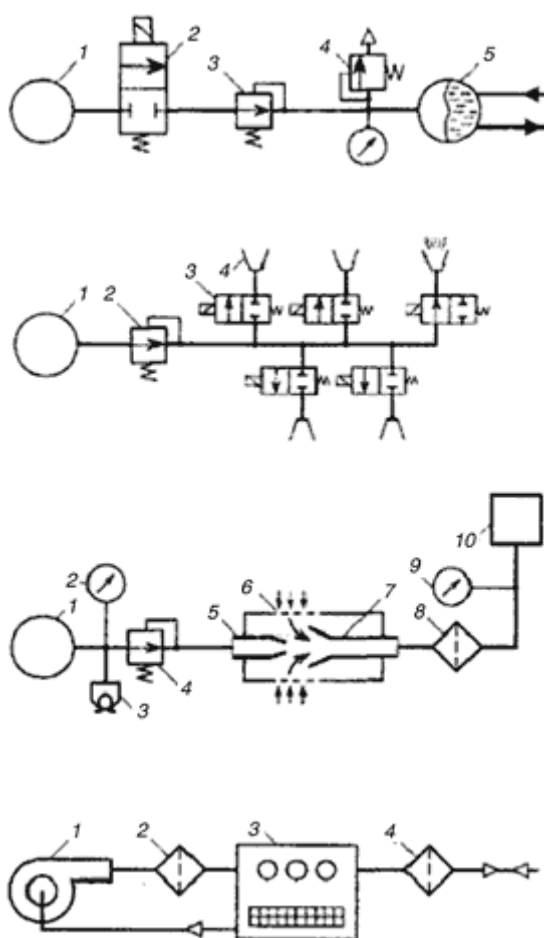


Рис.4-Принципиальные схемы аккумуляторного питания пневмосистем (а, б, в) и замкнутой пневмосистемы (г)

Для питания систем промышленной пневмоавтоматики часто используется не только средний (нормальный) диапазон давления воздуха (0,118...0,175

МПа), а и низкий диапазон (0,0012...0,005 МПа). Это позволяет уменьшить расход сжатого воздуха, увеличить проходное сечение элементов и, следовательно, снизить вероятность засорения дросселирующих устройств, а в некоторых случаях получить ламинарный режим течения воздуха с линейной зависимостью $Q = f(\Delta p)$, что весьма важно в устройствах пневмоавтоматики.

При наличии источника высокого давления можно обеспечить питание пневмосистемы низкого давления с большим расходом воздуха при помощи эжектора (рис.4, в). От пневмобаллона высокого давления 1, оборудованного редукционным клапаном 4, манометром 2 и зарядным клапаном 3 воздух поступает на питающее сопло 5 эжектора. При этом внутри корпуса эжектора создается пониженное давление, и из окружающей среды через фильтр 6 подсасывается воздух, который поступает в приемное сопло 7 большего диаметра. После эжектора воздух вторично очищается от пыли фильтром 8 и поступает к устройствам 10 пневмоавтоматики. Манометром 9 контролируется рабочее давление, величина которого может корректироваться редуктором 4.

Все вышеописанные пневмосистемы относятся к разомкнутым (бесциркуляционным). На рис.4, г показана замкнутая схема питания системы пневмоавтоматики, используемая в условиях пыльной атмосферы. Подача воздуха к блоку пневмоавтоматики 3 осуществляется вентилятором 1 через фильтр 2, причем всасывающий канал вентилятора соединен с внутренней полостью герметичного кожуха блока 3, которая одновременно через фильтр тонкой очистки 4 сообщается с атмосферой. Часто в качестве вентилятора используются бытовые электропылесосы, способные создавать давление до 0,002 МПа.

Воздух, поступающий к потребителям, должен быть очищен от механических загрязнений и содержать минимум влаги. Для этого служат фильтры-влагоотделители, у которых в качестве фильтрующего элемента обычно ис-

пользуется ткань, картон, войлок, металлокерамика и другие пористые материалы с тонкостью фильтрации от 5 до 60 мкм. Для более глубокой осушки воздуха его пропускают через адсорбенты, поглощающие влагу. Чаще всего для этого используется силикагель. В обычных пневмоприводах достаточную осушку обеспечивают ресиверы и фильтры- влагоотделители, но вместе с тем воздуху необходимо придавать смазочные свойства, для чего служат масло-распылители фитильного или эжекторного типа.

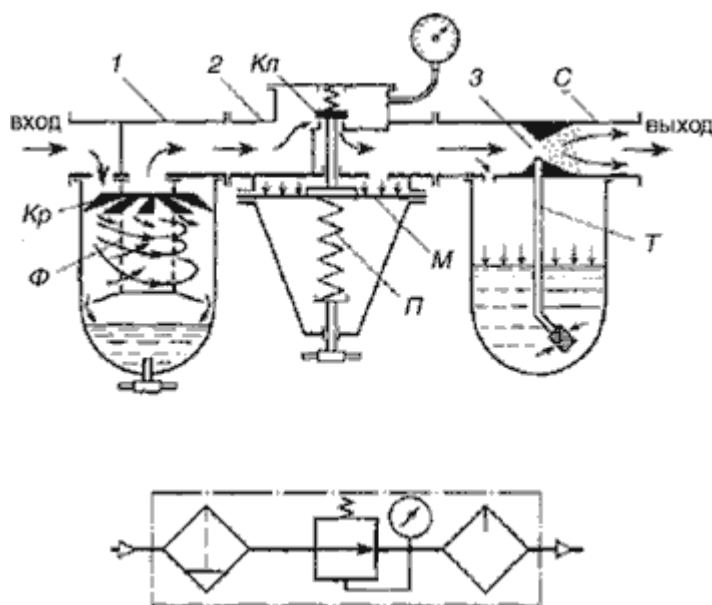


Рис.5-Типовой узел подготовки воздуха:

а - принципиальная схема; б - условное обозначение

На рис.5 показан типовой узел подготовки воздуха, состоящий из фильтра-влагоотделителя 1, редукционного клапана 2 и маслораспылителя 3.

Поступающий на вход фильтра воздух получает вращательное движение за счет неподвижной крыльчатки *Кр*. Центробежной силой частицы влаги и механических примесей отбрасываются к стенке прозрачного корпуса и оседают в его нижнюю часть, откуда по мере необходимости удаляются через сливной кран. Вторичная очистка воздуха происходит в пористом фильтре *Ф*, после которого он поступает на вход редуктора, где происходит дросселиро-

вание через зазор клапана $Kл$, величина которого зависит от выходного давления над мембраной M . Увеличение усилия сжатия пружины $П$ обеспечивает увеличение зазора клапана $Kл$ и, следовательно, выходного давления. Корпус маслораспылителя 3 делается прозрачным и заполняется через пробку смазочным маслом. Создаваемое на поверхности масла давление вытесняет его через трубку T вверх к соплу C , где масло эжектируется и распыляется потоком воздуха. В маслораспылителях фитильного типа вместо трубки T установлен фитиль, по которому масло поступает в распылительное сопло за счет капиллярного эффекта.

Исполнительные пневматические устройства

Исполнительными устройствами пневмоприводов называются различные механизмы, обеспечивающие преобразование избыточного давления воздуха или вакуума в рабочее усилие. Если при этом рабочий орган совершает движение относительно пневмоустройства, то он называется пневмодвигателем, а если движения нет или оно происходит совместно с пневмоустройством, то оно называется пневмоприжимом или пневмозахватом.

Пневмодвигатели могут быть, как и гидродвигатели, вращательного или поступательного действия и называются, соответственно, *пневмомоторами* и *пневмоцилиндрами*. Конструктивное исполнение этих устройств во многом похоже на их гидравлические аналоги. Наибольшее применение получили шестеренные, пластинчатые и радиально-поршневые пневмомоторы объемного действия. На рис.6, а показана схема радиально-поршневого мотора с передачей крутящего момента на вал через кривошипно-шатунный механизм.

В корпусе 1 симметрично расположены цилиндры 2 с поршнями 3. Усилие от поршней передается на коленчатый вал 5 через шатуны 4, прикрепленные шарнирно к поршням и кривошипу коленчатого вала. Сжатый воздух подво-

дится к рабочим камерам по каналам 8, которые поочередно сообщаются с впускным *Вп* и выхлопным *Вх* каналами распределительного золотника 6, вращающегося синхронно с валом мотора. Золотник вращается в корпусе распределительного устройства 7, к которому подведены магистрали впуска и выхлопа воздуха.

Радиально-поршневые пневмомоторы являются относительно тихоходными машинами с частотой вращения вала до 1000...1500 об/мин. Более быстроходны шестеренные и пластинчатые моторы (2000...4000 об/мин), но самыми быстроходными (до 20000 об/мин и более) могут быть турбинные пневмомоторы, в которых используется кинетическая энергия потока сжатого воздуха. В частности, такие моторы используются для вращения рабочих колес вентиляторов на горных предприятиях.

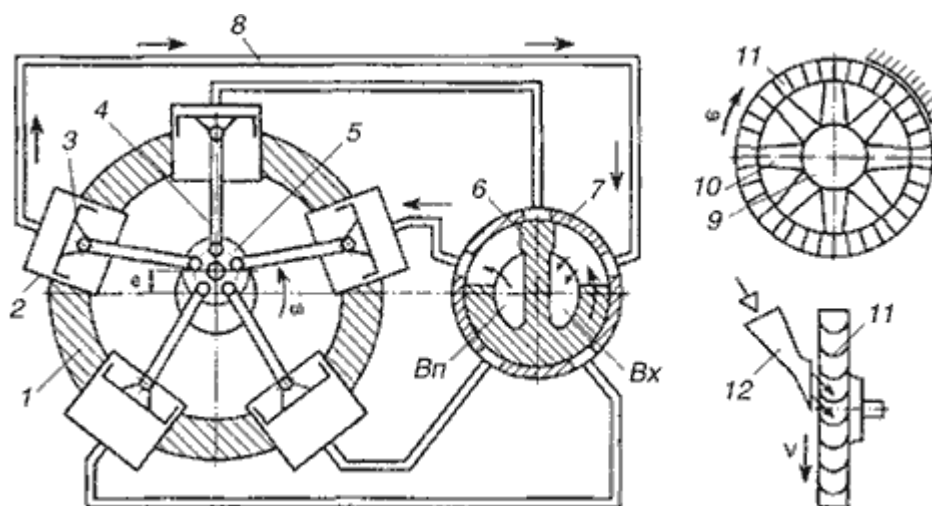


Рис.6-Схемы пневмомоторов объемного (а) и динамического (б) действия

На рис.6, б показана схема пневмопривода колеса вентилятора, состоящего из ступицы 9 с лопаток 10, к которым жестко прикреплен вращающийся обод с лопатками пневмомотора 11. Поток сжатого воздуха, вытекающий из сопла 12 по касательной к изогнутым лопаткам 11, отдает свою энергию и заставляет вращаться колесо вентилятора с большой скоростью. Описанное устройство можно назвать пневмопреобразователем, преобразующим поток

воздуха высокого давления в поток низкого давления с гораздо большим расходом.

Пневмопривод отличается большим разнообразием оригинальных исполнительных устройств с эластичными элементами в форме мембран, оболочек, гибких нитей, рукавов и т.н. Они широко используются в зажимных, фиксирующих, переключающих и тормозных механизмах современных автоматизированных производств. К ним относятся *мембранные* и *сильфонные пневмоцилиндры* с относительно малой величиной рабочего хода штока. Плоская резиновая мембрана позволяет получить перемещение штока на $0,1 \dots 0,5$ от ее эффективного диаметра. При выполнении мембраны в форме гофрированно-го чулка рабочий ход увеличивается до нескольких диаметров мембраны. Такие пневмоцилиндры называются *сильфонными*. Они могут быть с внешним и внутренним подводом воздуха. В первом случае длина гофрированной трубки под действием давления уменьшается, во втором увеличивается за счет деформации гофров. В качестве эластичного элемента применяется резина, резинотканевые и синтетические материалы, а также тонколистовая сталь, бронза, латунь.

Увеличение скорости выполнения операций во многих случаях достигается применением пневмозахватов, схемы которых показаны на рис.7.

Для перемещения листовых изделий используются пневмоприсоски, относящиеся к вакуумным захватам безнасосного и насосного типа. В захватах безнасосного типа (рис.7, а) вакуум в рабочей камере *K* создается при деформации самих элементов захвата, выполненных в виде гибкой тарелки, прилегающей своей кромкой к детали и подвижным поршнем, к которому прикладывается внешнее усилие. Величина вакуума при подъеме детали пропорциональна ее весу и обычно бывает не более 55 кПа. Для обеспечения лучшего притяжения, особенно для недостаточно гладкой поверхности детали, при-

меняют захваты насосного типа, у которых воздух из рабочей камеры отсасывается насосом до глубины вакуума 70...95 кПа.

Часто применяют простые устройства эжекторного типа (рис.7, б), в которых кинетическая энергия струи жидкости, пара или воздуха используется для отсасывания воздуха из рабочей камеры K , находящейся между присоской Π и деталью. Сжатый воздух, поступающий на вход A , проходит с большой скоростью через сопло B эжектора и создает пониженное давление в камере B и канале Γ , сообщаемым с рабочей камерой K .

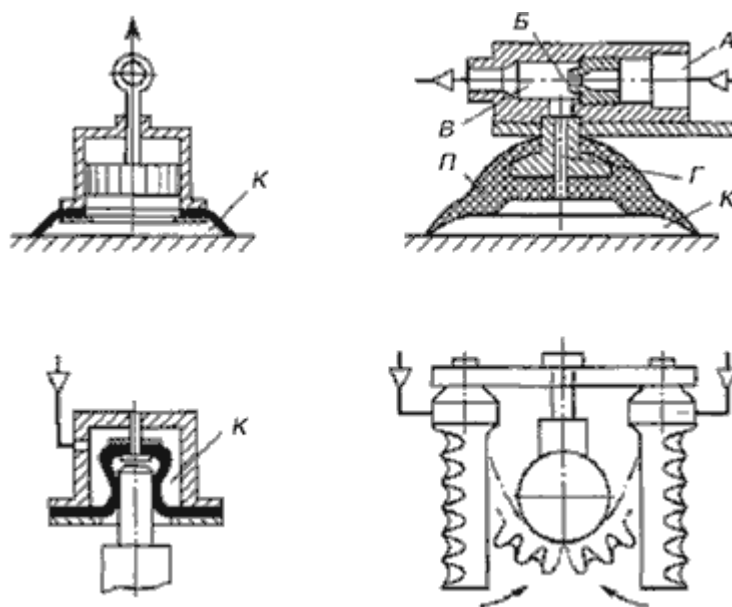


Рис.7- Схемы пневмозахватов

Для зажима деталей цилиндрической формы применяют пневмозахваты, выполненные по схемам в и г (рис.7). При подводе воздуха в рабочую камеру K упругий цилиндрический колпачок охватывает шейку вала и создает усилие, достаточное для его зажима. На схеме г показан двухсторонний пневмозахват, рабочими элементами которого служат сильфоны с односторонним гофром. При создании избыточного давления внутри сильфона гофрированная сторона растягивается на большую длину, чем гладкая, что вызывает перемещение незакрепленной (консольной) стороны трубки в направлении

охватываемой детали. Такими устройствами можно фиксировать детали не только круглой формы, но и с любыми фасонными поверхностями.

В ряде случаев возникает потребность в перемещении рабочих органов на большие расстояния до 10...20 м и более по прямолинейной или искривленной траектории. Применение обычных штоковых пневмоцилиндров ограничено рабочим ходом до 2 м. Конструкции бесштоковых пневмоцилиндров, удовлетворяющих этим требованиям, показаны на рис.8.

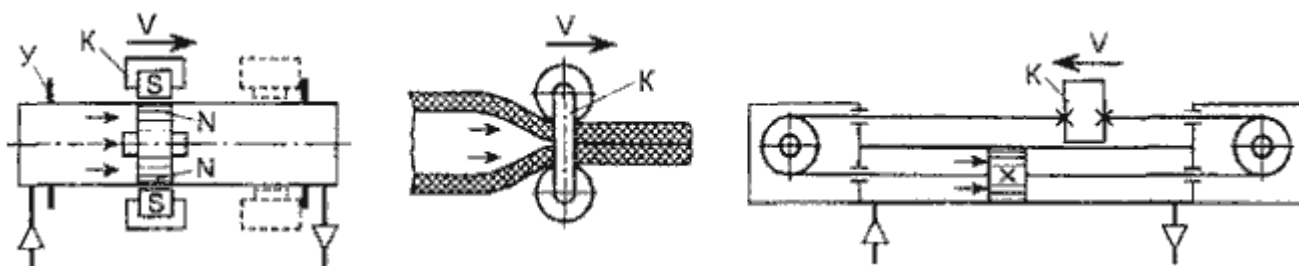


Рис.8-Схемы бесштоковых пневмодвигателей
поступательного движения

Отсутствие жесткого штока позволяет практически в два раза уменьшить длину цилиндра в выдвинутом положении. На схеме а показан длинноходовой пневмоцилиндр с передачей усилия через сильный постоянный магнит. Абсолютно герметичная гильза цилиндра выполнена из немагнитного материала, а ее внутренняя полость разделяется поршнем на две камеры, к которым подводится сжатый воздух. В поршне и каретке *K*, соединенной с рабочим органом, встроены противоположные полюса магнита *S* и *N*, взаимодействие которых обеспечивает передачу движущего усилия на каретку, скользящую по направляющим на внешней поверхности гильзы. Ход каретки ограничивается конечными упорами *У*.

Практически неограниченную длину хода имеют пневмоцилиндры с эластичной гильзой (рис.8, б), охватываемой двумя роликами, соединенными кареткой *K*. Такие пневмоцилиндры очень эффективны для перемещения

штучных грузов по сложной траектории и в приводах с небольшими рабочими усилиями.

Пневмоцилиндр с гибким штоком показан на схеме рис.8, в. В такой конструкции тяговое усилие передается на каретку *K* от поршня через гибкий элемент (обычно стальной трос, облицованный эластичной пластмассой), охватывающий обводной и натяжной ролики, расположенные на крышках цилиндра.

Структура пневмопривода

Пневматический привод – совокупность технических средств, осуществляющих управляемое преобразование энергии сжатого газа в энергию механического движения объекта управления в соответствии с требованиями автоматизированного технологического процесса.

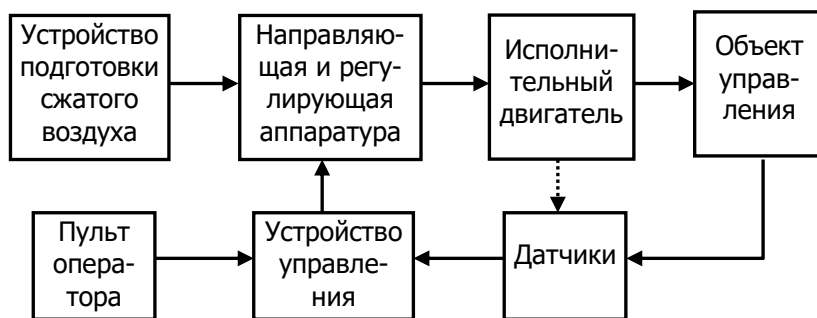


Рис. 9. Обобщённая структурная схема пневмопривода

Обобщённая структурная схема пневматического привода представлена на рис. 9.

По виду реализуемых движений объекта управления пневмоприводы подразделяются на цикловые, позиционные, следящие.

Цикловые приводы характеризуются тем, что объект управления (ОУ) имеет ограниченное количество точек позиционирования (как правило, это его крайние положения). В таком приводе датчики являются дискретными и

выдают сигнал о наличии или отсутствии ОУ в данной позиции. Устройство управления (УУ) также является дискретным и выдаёт сигналы, включающие или выключающие исполнительный двигатель (ИД) или изменяющие направление его движения.

Позиционные приводы характеризуются тем, что ОУ может быть остановлен с заданной точностью в любой точке своего диапазона перемещения. В позиционном приводе датчики, которые могут быть как дискретными (цифровыми), так и аналоговыми, выдают сигнал, пропорциональный положению ОУ. УУ на основе анализа сигналов датчиков осуществляет включение или выключение ИД или изменение направления его движения.

У следящих приводов ОУ не только должен быть остановлен в заданной точке, но и прийти в эту точку по заданной траектории. В таких приводах используется пропорциональная регулирующая аппаратура, а УУ имеет возможность не только включать или выключать ИД, но и изменять скорость его движения. Следящие приводы являются наиболее сложными и дорогими.

95% пневмоприводов являются цикловыми. Далее рассматриваются способы их построения.

В цикловых пневмоприводах в качестве исполнительного двигателя используется пневмоцилиндр, в качестве направляющих и регулирующих устройств – дроссели, клапаны, распределители. Устройство управления может быть построено как на основе пневматических элементов (логические клапаны «НЕ», «ИЛИ», «И», «ПАМЯТЬ»; струйные логические элементы серии «ВОЛГА»), так и на основе электронных компонентов (электромагнитные реле, цифровые электронные микросхемы, программируемые логические контроллеры). В первом случае используются пневматические датчики и распределители с пневматическим управлением, во втором - электрические датчики и распределители с электрическим управлением. В наиболее простых цикловых пневмоприводах, управляющее устройство как отдельный блок может отсутствовать, его роль выполняет распределитель.

Для примера рассмотрим задачу 1:

Разработать схему управления пневматическим цилиндром двустороннего действия, осуществляющую следующий алгоритм работы:

1. При кратковременном нажатии кнопки "ПУСК" шток пневмоцилиндра выдвигается.
2. При достижении штоком крайнего положения он автоматически втягивается и остаётся в исходной позиции.

На работу пневмопривода накладывается ограничение:

1. Если шток цилиндра ещё не вернулся в исходную позицию, нажатие кнопки "ПУСК" не должно приводить к повторному срабатыванию привода.

Управление пневмоцилиндром осуществляется от 5/2 бистабильного распределителя с пневматическим управлением. В качестве кнопки будем использовать 3/2 моностабильный распределитель с механическим управлением, а в качестве датчика такой же распределитель с нажатием от ролика.

Схема привода представлена на рис.10.

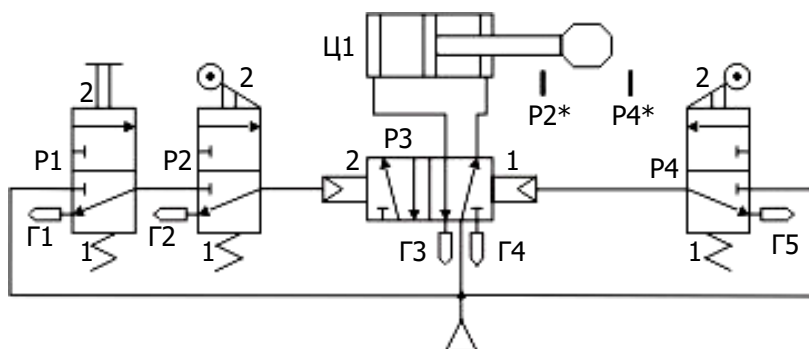


Рис. 10. Схема пневматического привода к задаче 1.

* - штрихами (здесь и далее) обозначено конструктивное расположение распределителей P2 и P4.

В исходном положении (рис.10.1) распределитель P3 находится в пози-

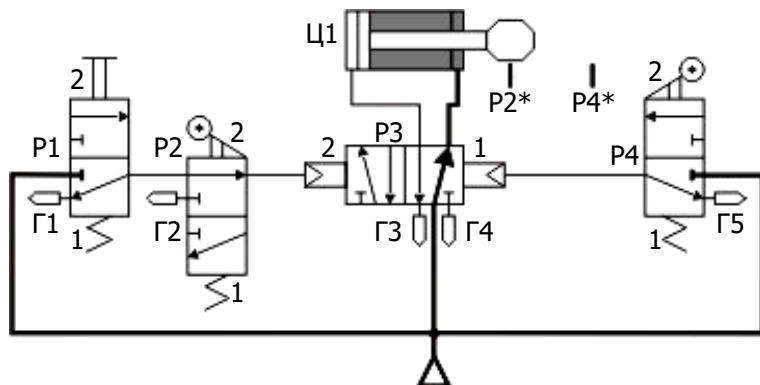


Рис. 10.1. Исходное состояние пневмопривода к задаче 1.

ции 1.

При этом бесштоковая полость цилиндра соединенная с атмосферой по цепи: бесштоковая полость цилиндра (БПЦ1) - распределитель Р3 - глушитель Г3, а штоковая полость соединена с узлом подготовки воздуха (УПВ) по цепи: УПВ - Р3 - ШПЦ1. Шток цилиндра втянут. Соответственно нажат ролик распределителя Р2 и распределитель находится в поз. 2.

Управляющие входы распределителя Р3 (У1Р3 и У2Р3) соединены с атмосферой: У1Р3 - Р4 – Г5 и У2Р3 - Р2 – Р1 - Г1.

При нажатии на кнопку распределителя Р1, он перемещается в пози-

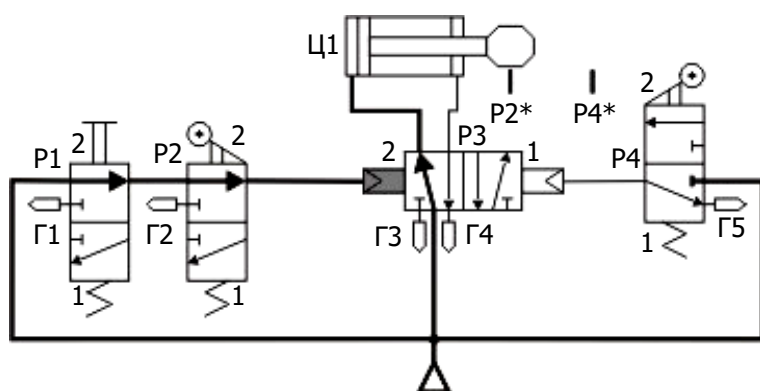


Рис. 10.2. Состояние пневмопривода в задаче 1 после нажатия кнопки распределителя Р1 («ПУСК»).

цию 2 (рис. 10.2).

При этом на управляющий вход поз. 2 распределителя Р3 поступает сжатый воздух от УПВ по цепи: УПВ - Р1 - Р2 - У2Р3. Распределитель Р3 переключается в поз. 2. Штоковая полость цилиндра соединяется с атмосферой по цепи: ШПЦ1 – Р3 – Г4, а бесштоковая с УПВ: УПВ - Р3 - БПЦ1. Шток цилиндра начинает выдвигаться.

Как только шток цилиндра отходит от своего крайнего положения, ролик распределителя Р2 отжимается, и распределитель под действием пружины возвращается в позицию 1 (рис. 10.3). Однако, бистабильный распределитель Р3 останется в позиции 2, поэтому шток цилиндра будет продолжать выдвигание. В этой ситуации распределитель Р1 уже не играет никакой роли и его кнопку можно отпустить. Причём, пока шток цилиндра не вернётся в

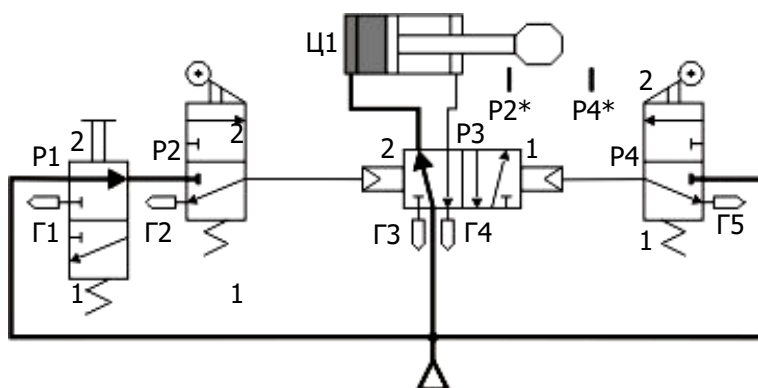


Рис. 10.3. Состояние пневмопривода в задаче 1 после начала выдвижения штока пневмоцилиндра.

исходную позицию, повторное нажатие кнопки распределителя P1 ни как не повлияет на работу привода. Таким образом выполняется ограничение 1.

При выдвижении штока цилиндра в крайнее правое положение он нажимает на рычаг распределителя P4 и переводит его в позицию 2 (рис.10.4).

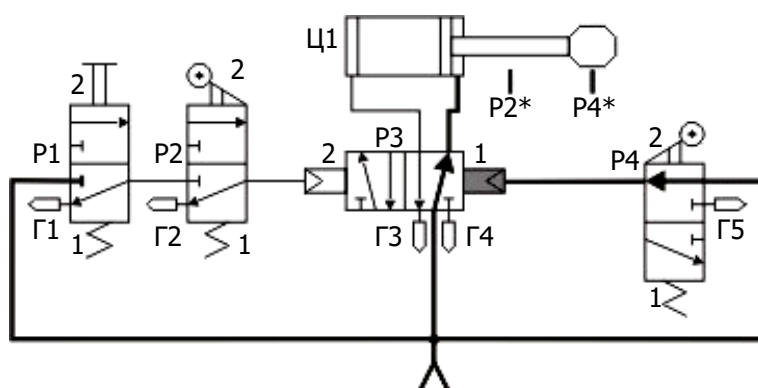


Рис. 10.4. Состояние пневмопривода в задаче 1 при достижении штоком цилиндра крайнего вытянутого положения

При этом, управляющий вход 1 распределителя P3 подключается к УПВ по цепи: УПВ - P4 - У1P3 и P3 переключается в поз.1. Бесштоковая полость соединяется с атмосферой (БПЦ1 - P3 - Г3), а штоковая - с УПВ (УПВ - P3 - ШПЦ1). Шток цилиндра втягивается, и привод возвращается в исходное положение.

В этом примере распределитель выполняет функции управляющего устройства, принимая сигналы от оператора, нажимающего кнопку распределителя P1, и от датчиков - P2 и P4. На основе полученных сигналов осу-

ществляется переключение потоков сжатого воздуха, а, соответственно, изменение направления движения штока пневмоцилиндра, который приводит в движение какой-либо технологический объект (заслонку, манипулятор, толкатель и т.п.).

Однако, не всегда алгоритм работы пневмопривода является таким простым. Даже для цикловых пневмоприводов (особенно при управлении несколькими пневмоцилиндрами) условия переключения распределителя могут быть достаточно сложными. В этом случае для построения системы управления используют пневмоклапаны, которые выполняют логические функции. Иногда такие клапаны называют логическими элементами.

Логической функцией называют функцию, которая зависит от логических переменных. Логической переменной называют переменную, которая может принимать только два значения, например «0» или «1». Применительно к пневматическому приводу «0» будем считать низкий уровень давления, недостаточный для срабатывания клапана или переключения распределителя. Соответственно, под «1» понимают высокий уровень давления, достаточный для срабатывания клапана или переключения распределителя. Логическая функция, как правило, задаётся при помощи таблицы, называемой таблицей истинности.

Логические элементы выполняют простейшие логические функции: НЕ, И, ИЛИ. Условные графические обозначения логических клапанов, и выполняемые ими логические функции приведены на рис.11.

Принципы работы логических пневмоклапанов легко запомнить при помощи следующих фраз:

для клапана «НЕ»: $Y \text{ НЕ } X$;

для клапана «И»: $Y \text{ равен } 1 \text{ если } X_1=1 \text{ И } X_2=1$;

для клапана «ИЛИ»: $Y \text{ равен } 1 \text{ если } X_1=1 \text{ ИЛИ } X_2=1$.

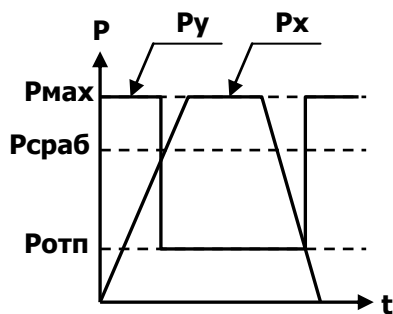


Рис.12. Изменение давления на выходе Y (P_y) клапана «НЕ» в зависимости от изменения давления на входе X.

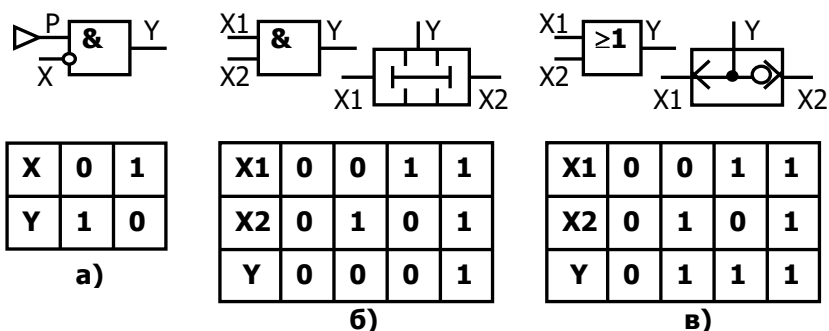


Рис. 11. Условные графические обозначения и таблицы истинности выполняемых логических функций пневмоклапанов: а) пневмоклапан «НЕ»; б) пневмоклапан «И»; в) пневмоклапан «ИЛИ».

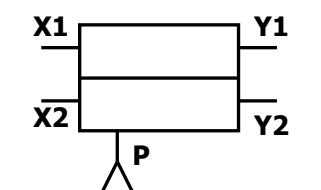
Для того чтобы клапан «НЕ» выполнял логическую функцию НЕ по отношению ко входу X, на вход P должен подаваться сжатый воздух (рис.11а).

Следует заметить, что логический клапан «Не» имеет одну особенность. Если давление на его входе X будет постепенно возрастать (рис.4), то срабатывание клапана произойдёт при некотором давлении, называемом давлением срабатывания ($P_{сраб}$). Если давление на входе X будет постепенно уменьшаться от максимального значения, то обратное переключение произойдёт при давлении, которое называется давлением отпускания ($P_{отп}$). Причём $P_{сраб}$ больше, чем $P_{отп}$.

Устройство управления, которое принимает логические (дискретные) сигналы, обрабатывает их и выдаёт управляющие логические (дискретные) воздействия называется логическим автоматом. Все логические автоматы делятся на комбинационные и последовательностные. У комбинационных автоматов значение выходных сигналов («0» или «1») в данный момент времени зависит только от значения входных сигналов в этот же момент времени. Описанные выше логические пневмоклапаны «НЕ», «И», «ИЛИ» являются простейшими комбинационными логическими автоматами.

У последовательностных автоматов значение выходных сигналов в данный момент времени зависит не только от значения входных сигналов в этот же момент времени, но и от предыдущего состояния автомата. Про-

стейшим последовательностным логическим автоматом является клапан «ПАМЯТЬ» (рис. 13).



X1	X2	Y1	Y2
0	0	предыдущее состояние	
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	нежелательная комбинация	

Рис. 13. Условное графическое обозначение и таблица переключений пневмоклапана «ПАМЯТЬ»

Пневмоклапан «ПАМЯТЬ» работает следующим образом.

Если на вход X1 подать «1», а на X2 – «0», то на выходе Y1 будет «1», а на выходе Y2 – «0». Если после этого убрать сигнал со входа X1, на обоих входах будут «0», то на выходе Y1 останется «1», а на выходе Y2 – «0». Т.е. клапан, как бы, сохраняет своё предыдущее состояние. Если теперь на вход X2 подать «1» а на входе X1 останется «0», то на выходе Y1 будет «0», а на выходе Y2 – «1». Если теперь со входа X2 убрать «1», и на обоих входах будет 0, то клапан снова сохраняет предыдущее состояние: на выходе Y1 – «0», на выходе Y2 – «1».

Таким образом, при одной и той же комбинации входных сигналов ($X1=0$, $X2=0$) на выходе могут быть разные комбинации (либо $Y1=1$, $Y2=0$; либо $Y1=0$, $Y2=1$) в зависимости от предыдущего состояния. Иногда, такое устройство называют триггером.

Если на оба входа подать единицы, то клапан либо останется в предыдущем состоянии (если давления на обоих входах равны), либо 1 установится на том выходе, на входе и которого больше давление. Чтобы в работе схемы не возникло неоднозначности, такое состояние допускать не рекомендуется.

Следует заметить, что бистабильный 5/2 распределитель так же выполняет функцию «ПАМЯТЬ» если управляющие входы рассматривать как входы X1 и X2.

В качестве примера, иллюстрирующего применение логических элементов, рассмотрим **задачу 2**.

Разработать схему пневмопривода, осуществляющего управление пневмоцилиндром по следующему алгоритму:

2. При кратковременном нажатии кнопки «Стоп» шток цилиндра втягивается и останавливается.

Для управления направлением движения штока использовать бистабильный 5/2 распределитель с пневматическим управлением. В качестве кнопок и датчиков - моностабильные 3/2 распределители с механическим управлением.

The diagram shows a hydraulic circuit. At the top, a 3/2-way valve is connected to a 4/3-way valve. The 3/2-way valve has a single inlet from the left and two outlets to the right, labeled P_1 and P_2^* . The 4/3-way valve has two inlets from the left, labeled 2 and 1, and two outlets to the right, labeled P_1 and P_3^* . The outlets P_1 and P_2^* of the 3/2-way valve are connected to the inlets 2 and 1 of the 4/3-way valve, respectively. The outlets P_1 and P_3^* of the 4/3-way valve are connected to a common line that leads to a cylinder.

Рис. 14. Силовая часть привода к задаче 2.

Для разработки управляющей части схемы необходимо определить условия, при которых распределитель Р1 должен переключаться из одной позиции в другую (т.е. в каких случаях должны поступать сигналы на соответствующие управляющие входы).

Шток цилиндра должен выдвигаться в том случае, если он находится в исходной позиции (т.е. нажат ролик распределителя

Р2) И если была нажата кнопка «Пуск1» **ИЛИ** «Пуск2». Если же была нажата кнопка «Стоп», шток цилиндра должен оставаться втянутым. Таким образом, необходим клапан «ПАМЯТЬ», который бы «запоминал», какая из кнопок была нажата последней.

На вход Х1 клапана «ПАМЯТЬ» сигнал должен поступить в том случае, если нажата кнопка «Пуск1» **ИЛИ** «Пуск2», а на вход Х2 – если нажата кнопка «Стоп». Соответствующий фрагмент пневмосхемы приведён на рис. 15.

В исходном состоянии все кнопки отжаты, соответственно на обоих входах X1 и X2 клапана К2 «ПАМЯТЬ» будет «0». Если нажата кнопка «Пуск1»

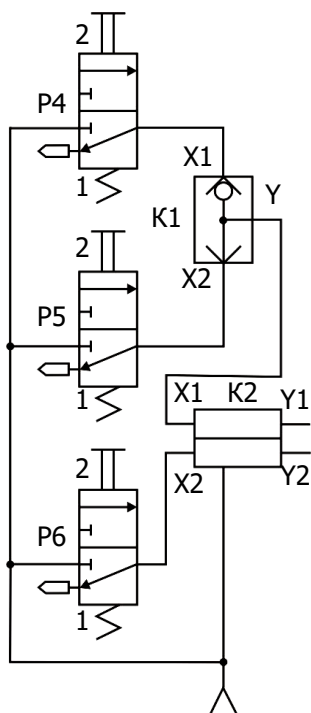


Рис. 15. Применение клапана «ПАМЯТЬ» для «запоминания» последней нажатой кнопки

ИЛИ «Пуск2», то на выходе Y клапана K1 «ИЛИ» появляется «1», которая поступает на вход X1 клапана K2. Соответственно на выходе Y1 будет «1», а на выходе Y2 – «0».

Если нажать кнопку «стоп», то на входе X2 клапана K2 появится «1», и тогда на выходе Y2 также будет «1», а на выходе Y1 – «0».

Таким образом, на выходе Y1 появляется сигнал, если [была нажата кнопка «Пуск1» **ИЛИ** «Пуск2»], а на выходе Y2 – если [была нажата кнопка «Стоп»].

Согласно алгоритму работы привода на управляющий вход 2 распределителя P1 (см. рис. 6) должен прийти сигнал, если [нажат ролик распределителя P2] **И** [была нажата кнопка «Пуск1» **ИЛИ** «Пуск2»].

На управляющий вход 1 должен прийти сигнал, если [была нажата кнопка «Стоп»] **ИЛИ** [нажат ролик распределителя P3].

Объединив выходы Y1 и Y2 клапана K2 «ПАМЯТЬ» с выходами распределителей P2 и P3 (рис. 16) через соответствующие логические клапаны K3 («И») и K4 («ИЛИ»), получим полную схему привода.

В соответствии с рис. 9, в разработанной схеме пневмопривода можно выделить: пульт оператора, состоящий из распределителей (пневмокнопок)

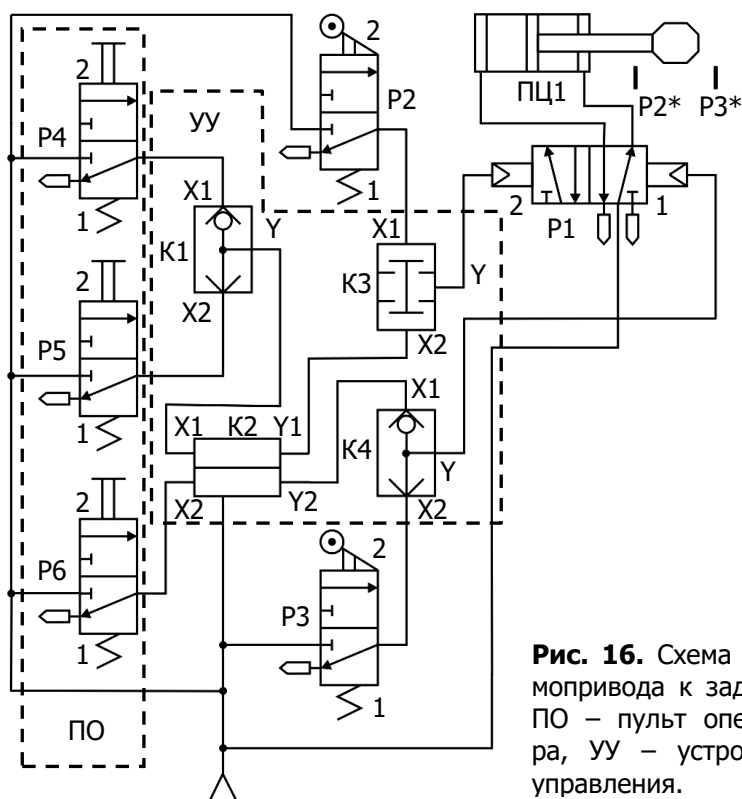


Рис. 16. Схема пневмопривода к задаче 2. ПО – пульт оператора, УУ – устройство управления.

P4, P5, P6; устройство управления, представляющее собой последовательный логический автомат, собранный из логических клапанов K1 – K4; датчики – распределители P2 и P3; направляющая и регулирующая аппаратура – распределитель P1; исполнительный двигатель – пневмоцилиндр ПЦ1.

Следует заметить, что функция И может быть реализована последовательным включением устройств. Например, на рис. 2 последовательное включение распределителей P1 и P2 обеспечивает подачу сигнала на управляющий вход 2 распределителя P3 только в том случае, если [нажата кнопка распределителя P1] И [нажат ролик распределителя P2].

Функция ИЛИ в некоторых случаях может быть реализована путём параллельного включения пневмоустройств, однако при такой реализации нужно быть очень осторожным. Например, рассмотрим ситуацию, если на рис. 15 убрать клапан K1, и распределители P4 и P5 соединить параллельно (см. рис. 7.1).

При переключении в позицию 2 только одного из распределителей Р4 ИЛИ Р5 вход Х1 клапана К2 будет соединён с атмосферой либо через Г1, либо через Г2. Это может привести к тому, что клапан К2 не сработает.

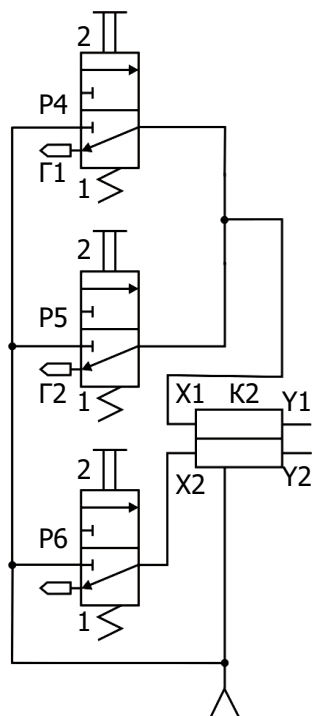


Рис. 15.1 Неудачная реализация функции **ИЛИ** при параллельном соединении распределителей Р4 и Р5

При разработке схемы пневмопривода с более сложным алгоритмом работы (особенно при управлении несколькими пневмоцилиндрами) определённую помощь может оказать составление циклограммы работы привода.

На циклограмме по горизонтальной оси откладывают время, а по вертикальной – состояние элементов (вкл./выкл.; нажато/отжато; движение вперёд/назад и т.п.). Иногда стрелками указывают причинно-следственные связи (т.е. нажатие какой кнопки или срабатывание какого датчика должно приводить к переключению распределителя и т.д.).

Проиллюстрируем применение циклограммы на примере задачи 3. Разработать схему пневмопривода, управляющего двумя пневмоцилиндрами по следующему алгоритму:

1. При нажатии кнопки «Пуск» выдвигается шток первого цилиндра.
2. При достижении штоком первого цилиндра крайнего вытянутого положения выдвигается шток второго цилиндра.
3. После достижения штоком второго цилиндра крайнего вытянутого положения он автоматически втягивается.
4. После того как шток второго цилиндра полностью втянут, втягивается шток первого цилиндра.
5. После того, как оба штока втянуты, они останавливаются до следующего нажатия кнопки «Пуск».

На работу схемы накладывается одно ограничение:

Если цикл работы привода ещё не завершён, нажатие кнопки «Пуск» не должно приводить к началу нового цикла.

Для управления направлением движения штока пневмоцилиндра использовать 5/2 бистабильные распределители с пневматическим управлением.

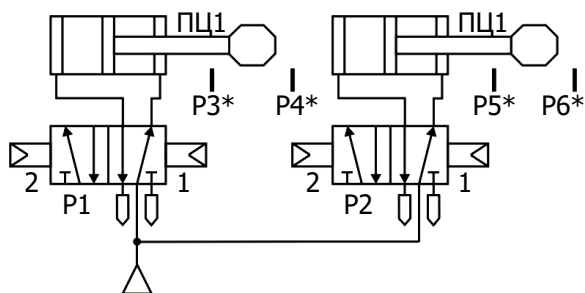


Рис. 17. Схема силовой части привода к задаче 3.

Тогда силовая часть привода будет иметь схему, приведённую на рис. 9.

В качестве датчиков (P3 – P6) использовать 3/2 моностабильные распределители с механическим управлением.

Составим циклограмму работы привода (см. рис. 10).

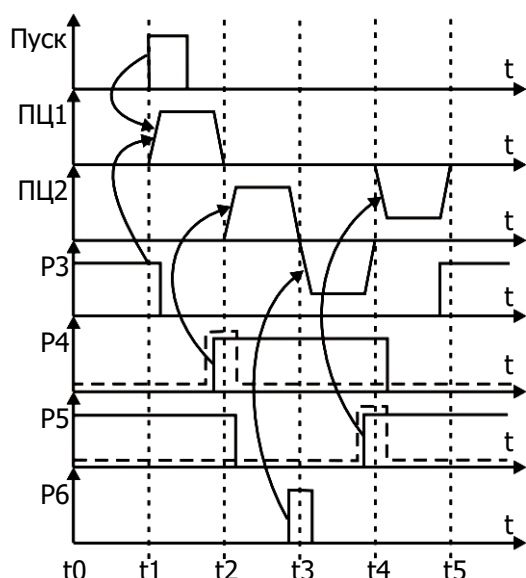


Рис. 18. Циклограмма работы пневмопривода к задаче 3.

В исходном состоянии (момент времени t_0) штоки обоих цилиндров втянуты. Ролики распределителей P3 и P5 нажаты и на их выходах есть сигнал. При нажатии кнопки «Пуск» (момент времени t_1) шток первого цилиндра должен выдвигаться, т.е. должен быть подан сигнал на второй управляющий вход распределителя P1. Согласно ограничению, условием подачи сигнала является [нажатие пневмокнопки «Пуск»] И [нажатие ролика

распределителя P3], что отражено на рис. 18 стрелками.

При отходе штока от крайнего втянутого положения ролик распределителя P3 отождётся, и сигнал на его выходе пропадёт.

При достижении штоком цилиндра ПЦ1 крайнего вытянутого положения (момент t_2) происходит нажатие ролика распределителя P4, что должно

привести к выдвижению штока цилиндра ПЦ2. Для этого должен быть подан сигнал на второй управляющий вход распределителя Р2. При отходе штока ПЦ2 от крайнего втянутого положения ролик распределителя Р5 отождётся, и сигнал на его выходе пропадёт.

При достижении штоком ПЦ2 крайнего вытянутого положения (момент t_3) срабатывает распределитель Р6, в результате чего шток ПЦ2 должен втянуться (т.е. должен быть подан сигнал на первый управляющий вход распределителя Р2).

После того, как шток ПЦ2 втянется (момент t_4), снова появится сигнал на выходе Р5. Это должно привести к подаче сигнала на первый управляющий вход распределителя Р1 и втягиванию штока ПЦ1. После втягивания штока ПЦ1 (t_5) схема останавливается в исходном состоянии.

На первый взгляд, для обеспечения требуемого алгоритма работы, необходимо соединить выходы распределителей Р4, Р5, Р6 со входами У2Р2, У1Р1, У1Р2 соответственно (см. рис. 19).

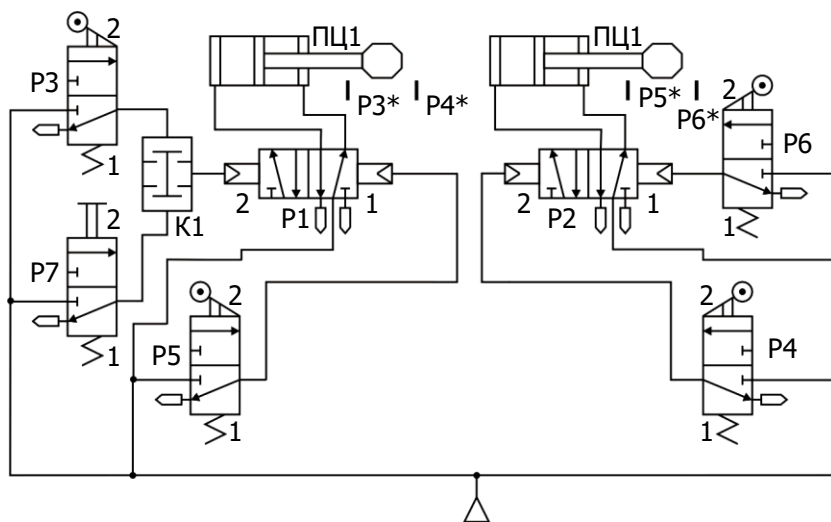


Рис. 19. Первый (нерабочий) вариант схемы пневмопривода к задаче 3.

Однако, если внимательно проанализировать циклограмму, то можно увидеть, что при такой схеме включения привод не запустится, т.к. в исходном состоянии (момент времени t_0 на циклограмме) на вход У1Р1 подаётся сигнал по цепи: УПВ – Р5 – У1Р1 (в исходном состоянии штоки цилиндров

втянуты, ролик распределителя Р5 нажат). Соответственно при нажатии кнопки «Пуск» (распределителя Р7) в момент времени t_1 распределитель Р1 не сможет переключиться в позицию 2.

Если же всё-таки удастся каким-то образом выдвинуть шток цилиндра ПЦ1, то в момент t_3 , когда Р2 должен переключиться в поз. 1, он не сможет этого сделать, т.к. управляющий вход У2Р2 будет соединён с УПВ по цепи: УПВ – Р4 – У2Р2.

Таким образом, для того, чтобы привод работал по заданному алгоритму, необходимо, чтобы сигнал на выходе распределителей Р4, Р5 (на входах У2Р2 и У1Р1) имел вид, показанный на рис. 18 пунктирной линией.

Для формирования такого сигнала можно использовать одновибратор (рис. 20).

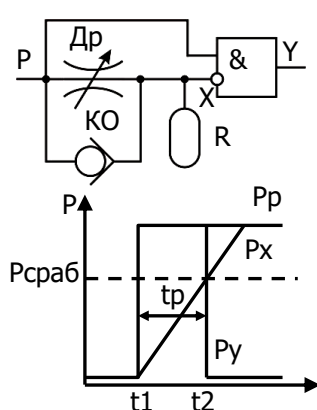


Рис. 20. Одновибратор

В начальный момент времени давление на входе Р (P_p) равно нулю. Соответственно, давление P_y на выходе У логического пневмоклапана «ИЕ» также равно нулю. При подаче давления на вход Р в момент времени t_1 на выходе У появится «1», т.к. ресивер R не может мгновенно «зарядиться» и на входе X будет «0».

Давление на входе X (P_x) будет возрастать постепенно. В тот момент (t_2), когда давление P_x достигнет значения $P_{сраб}$ (P_x станет равным «1»), давление P_y станет равным нулю.

Таким образом, на выходе элемента «ИЕ» формируется импульс давления длительностью t_p , которую можно регулировать при помощи дросселя Др.

При отключении входа Р от УПВ (соединении с атмосферой) ресивер R быстро «разряжается» через обратный клапан КО.

Включив одновибраторы между выходами распределителей Р4, Р5 (рис. 19) и входами У2Р2, У1Р1, получим схему привода, работающую согласно заданному в задаче 3 алгоритму. Схема приведена на рис. 21.

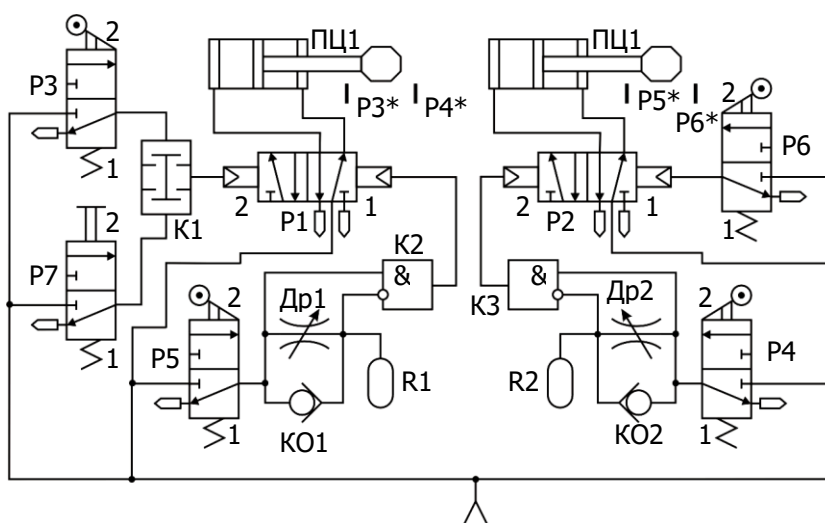


Рис. 21. Схема пневмопривода к задаче 3.

Задачу управления пневмоприводом можно также решать при помощи средств электроавтоматики. В этом случае используются кнопки и датчики с электрическими выходными сигналами (контактные выключатели; герконы; датчики, основанные на эффекте Холла; индуктивные, ёмкостные, оптические). Система управления строится при помощи электромагнитных реле, цифровых электронных микросхем или программируемых логических контроллеров. Для изменения направления потока сжатого воздуха используются пневматические распределители с электромагнитным управлением

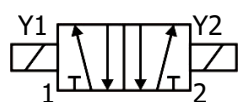


Рис. 22. Условное графическое обозначение распределителя с электромагнитным управлением

(рис.22).

Работа такого распределителя аналогична работе распределителя с пневматическим управлением, с той лишь разницей, что для переключения распределителя из одной позиции в другую необходимо подавать электрический сигнал (напряжение) на электромагниты Y1 и Y2.

Если привод работает по несложному алгоритму, то для управления такими распределителями используют электромагнитные реле (рис. 23).

Электромагнитное реле имеет одну рабочую обмотку (K1) и один или несколько контактов (K1.1 – K1.3). Контакты бывают нормально-разомкнутые (K1.1), нормаль-но-замкнутые (K1.2) и парные (K1.3),

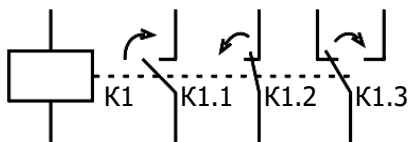


Рис. 23. Условное графическое обозначение электромагнитного реле. Контакты показаны в исходном состоянии. Стрелками показано направление переключения при подаче напряжения на рабочую обмотку K1.

представляющие собой комбинацию нормально-разомкнутого и нормально-замкнутого контактов.

Если на рабочую обмотку реле подать напряжение, то нормально-разомкнутый контакт замыкается, нормально-замкнутый – размыкается, парный – переключается.

На электрической схеме контакты реле изображаются в исходном состоянии (т.е. когда на рабочую обмотку реле напряжение не подаётся).

При помощи реле, так же как и при помощи логических пневмоклапанов могут быть реализованы логические функции (см. рис. 24).

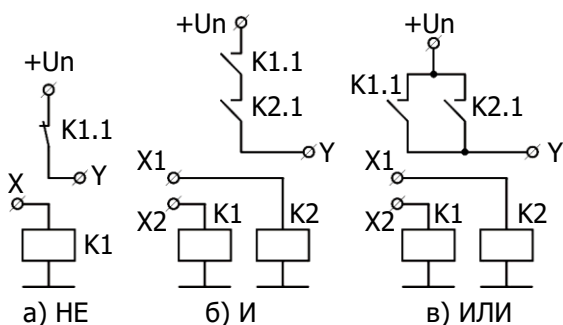


Рис. 24. Реализация логических функций при помощи реле.

Логическая функция НЕ реализуется при помощи нормально-замкнутого контакта реле (рис. 24 а). В исходном состоянии, когда на входе X «0» (т.е. напряжение не подаётся), через замкнутый контакт K1.1 на выход Y подаётся напряжение Un (т.е. на выходе –

«1»). При подаче напряжения на вход X (X=1), контакт K1.1 размыкается, и напряжение на выход Y не поступает (Y=0).

Логическая функция И реализуется последовательным включением нормально-разомкнутых контактов (рис. 24 б). На выходе Y будет «1» только в том случае, если замкнуты оба контакта – K1.1 и K2.1. Это произойдёт только в том случае, если подано напряжение на обе рабочие обмотки реле – K1 и K2 (т.е. если X1=1 **И** X2=1). Если хотя бы на одну рабочую обмотку напряжение не подаётся (например X1=0), то соответствующий контакт (K1.1) разомкнут, и на выход Y напряжение не поступает (Y=0).

Логическая функция ИЛИ реализуется параллельным соединением нормально-разомкнутых контактов (рис. 24в). Если X1=1 **ИЛИ** X2=1, то за-

мыкается контакт K1.1 **ИЛИ** K2.1, соответственно на выход Y подаётся напряжение ($Y=0$).

Очень часто в релейных схемах используется т.н. функция «самоблокировки» (или «самоудержания»). Рассмотрим эту функцию на примере привода, приведённого на рис. 25. Привод состоит из двух частей (схем) – пневматической (силовой) и электрической (управляющей). Иногда такой привод называют комбинированным пневмоэлектрическим или электропневматическим.

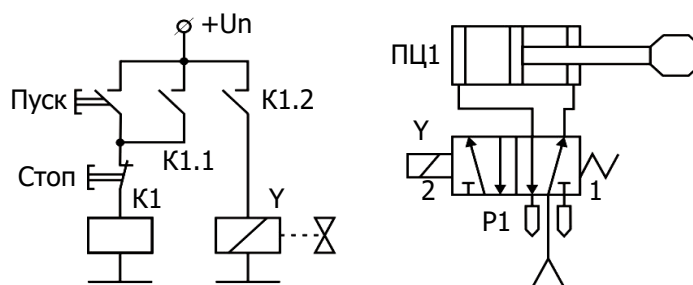


Рис. 25. Схема пневмоэлектрического привода с функцией «самоблокировки» на реле K1.

При нажатии кнопки «Пуск» (с нормально-разомкнутым контактом) её контакт замыкается, и через рабочую обмотку реле K1 проходит ток по цепи: $+Un$ – «Пуск» – «Стоп» – K1 – общий провод. При этом контакты реле K1.1 и K1.2 замыкаются.

Контакт K1.1 включён параллельно кнопке «Пуск», поэтому при отпуске кнопки (когда её контакт разомкнётся) ток всё равно будет проходить через рабочую обмотку реле по цепи: $+Un$ – K1.1 – «Стоп» – K1 – общий провод. Т.е. реле как бы само удерживает себя во включённом состоянии своим контактом K1.1. Отсюда и название – схема «самоудержания» или «самоблокировки».

При замыкании контакта K1.2 ток проходит через электромагнит Y распределителя P1 по цепи: $+Un$ – K1.2 – Y – общий провод. При этом распределитель переключается в позицию 2 и шток цилиндра выдвигается.

При нажатии кнопки «Стоп» (с нормально-замкнутым контактом) её контакт размыкается, цепь для прохождения тока через рабочую обмотку ре-

ле К1 разрывается, контакты К1.1 и К1.2 размыкаются. Соответственно, прекращается прохождение тока через электромагнит Y1. Распределитель P1 под действием пружины возвращается в позицию 1, шток цилиндра втягивается.

Для иллюстрации возможностей реле рассмотрим схему пневмоэлектрического привода, выполняющего такие же функции, что и пневмопривод в задаче 2. Для управления направлением движения штока цилиндра будем использовать 5/2 бистабильный распределитель с электроуправлением (рис. 26).

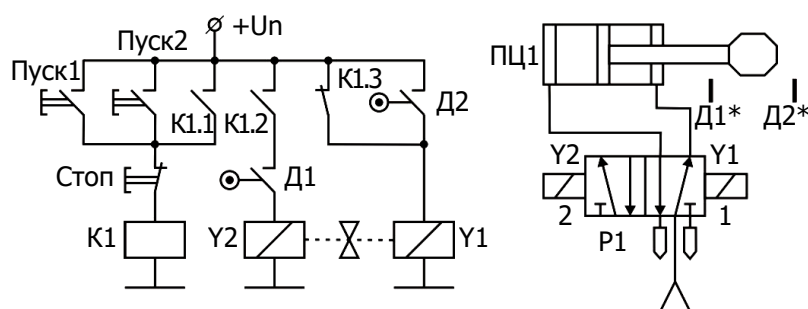


Рис. 26. Схема пневмоэлектрического привода к задаче 2.

В исходном состоянии реле К1 выключено, соответственно контакт К3.1 замкнут, и через электромагнит Y1 проходит ток по цепи: +Un – К1.3 – Y1 – общий провод. Распределитель P1 находится в позиции 1, шток цилиндра втянут. При этом нажат ролик контактного датчика Д1 и его контакт замкнут.

При нажатии кнопки «Пуск1» **ИЛИ** «Пуск2» через рабочую обмотку реле К1 проходит ток (в данном случае функция ИЛИ реализована параллельным соединением кнопок). При этом замыкается контакт К1.1 и ставит реле К1 на самоблокировку. Кроме того, замыкается контакт К1.2, а контакт К1.3 – размыкается. Соответственно электромагнит Y1 отключается, а через электромагнит Y2 проходит ток по цепи: +Un – К1.2 – Д1 – Y2 – общий провод. Распределитель P1 переключается в позицию 2, шток цилиндра выдвигается.

При достижении штоком крайнего вытянутого положения нажимается ролик датчика Д2, и его контакт замыкается. Включается электромагнит У1 и распределитель Р1 переключается в позицию 1 (электромагнит У2 в этот момент отключён, т.к. при выдвижении штока размыкается контакт датчика Д1). Шток цилиндра втягивается.

При втягивании штока вновь замыкается контакт датчика Д1, и распределитель снова переключается в позицию 2. Таким образом, происходит возвратно-поступательное движение штока.

При нажатии кнопки «Стоп» отключается реле К1, контакт К1.2 размыкается, а К1.3 – замыкается. Включается электромагнит У1 и шток цилиндра втягивается.

Таким образом, контакт К1.2 замкнут в том случае, если последней была нажата кнопка «Пуск», а К1.3 – если «Стоп». Контакт датчика Д1 включён последовательно с К1.2, т.е. реализуется функция И. Электромагнит У2 включается, если [замкнут контакт датчика Д1] И [последней была нажата кнопка «Пуск»]. Электромагнит У1 включается, если [замкнут контакт датчика Д2] ИЛИ [последней была нажата кнопка «Стоп»].

Следует заметить, что хотя схема на рис. 18 выполняет возложенную на неё задачу, она имеет один недостаток. Он заключается в том, что в состоянии останова (после нажатия кнопки «Стоп»), электромагнит У1 постоянно находится под напряжением. Желательно составлять электрические схемы

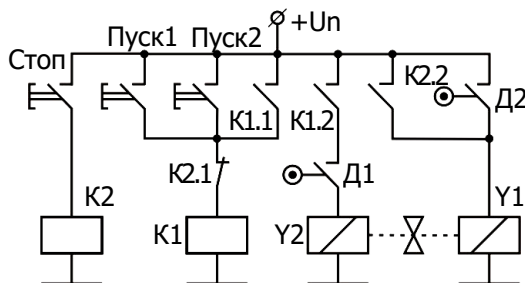


Рис. 26.1. Изменённая электрическая схема пневмоэлектропривода к задаче 2.

таким образом, чтобы напряжение на электромагниты подавалось кратковременно. Это повышает долговечность и безопасность работы оборудования. На рис. 26.1 приведена электрическая схема, лишённая этого недостатка. В данной схеме при нажатии кнопки «Стоп» замыкается кон-

такт К2.2, через электромагнит У1 протекает ток, распределитель переключает

ется в позицию 1. При отпускании кнопки контакт К2.2 размыкается, напряжение с электромагнита снимается.

Для создания электрической схемы пневмоэлектропривода применяют также электронные реле. По своему принципу действия они аналогичны электромагнитным реле, но вместо электрических контактов имеют электронные (транзисторные, тиристорные или симисторные) ключи. Электронные реле имеют более высокое быстродействие и надёжность по сравнению с электромагнитными, но как правило, меньшее количество контактов.

При необходимости реализации временных интервалов (например, как в задаче 3) используются реле времени. Реле времени представляют собой несколько более сложные электронные устройства и могут работать в различных режимах: задержка включения, задержка выключения, одновибратор и т.п.

Если требуется управлять несколькими цилиндрами по сложному алгоритму, то для создания системы управления используют программируемый логический контроллер (ПЛК). ПЛК представляет собой сложное микропроцессорное устройство, имеющее несколько логических входов и выходов. На входы контроллера поступают логические электрические сигналы от датчиков или кнопок. К выходам контроллера подключаются электромагниты распределителей, рабочие обмотки реле, сигнальные лампы и другие исполнительные устройства.

Контроллер обрабатывает входные сигналы по заданному алгоритму и, в соответствии с задачей управления, включает или выключает необходимые выходы.

Алгоритм работы ПЛК определяется программой, записанной в его память. Программа составляется при помощи персонального компьютера и записывается в память контроллера через специальный коммуникационный интерфейс.

Для составления программ используются несколько языков программирования ПЛК:

1. Язык инструкций (STL) – использование этого языка требует знания внутренней структуры контроллера и основ микропроцессорной техники.

2. Язык функциональных схем (FBD) – использование этого языка требует знания основ цифровой электроники.

3. Язык лестничных диаграмм (LAD) – требует знания принципов работы электромагнитных реле. Другое название этого языка – язык релейно-контактных схем (РКС).

Программа на языке РКС представляет собой набор вычислительных цепочек (network). Каждая цепочка (рис. 19) начинается от виртуальной шины питания (ВШП), состоит из набора нормально-разомкнутых (I0.0) и нормально-замкнутых (I0.1) контактов и заканчивается выходной обмоткой (Q0.0). Здесь I0.0 и I0.1 – номера входов, а Q0.0 – номер выхода контроллера.

Если от виртуальной шины питания проходит сигнал (виртуальный ток) до выходной обмотки, то на соответствующий выход контроллера подаётся напряжение (он устанавливается в «1»).

Нормально-разомкнутый контакт «замывается» в том случае, если на соответствующий вход ПЛК подаётся напряжение («1»). Нормально-замкнутый контакт – «размыкается», если на соответствующий вход ПЛК подаётся напряжение («1»).

Таким образом, во фрагменте программы, приведённом на рис. 19, сигнал на обмотку Q0.0 проходит в том случае, когда на входе I0.0 есть напряжение (контакт I0.0 замыкается), а на входе I0.1 напряжения нет (I0.1=0). В этом случае контакт I0.1 находится в исходном состоянии, т.е. замкнут.

Контакты могут обозначаться также по номерам выходов (буквой Q). В этом случае нормально-разомкнутый контакт замыкается, если соответствующий выход установлен в «1».

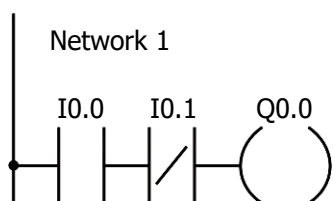


Рис. 27. Фрагмент программы (вычислительная цепочка) на языке LAD.

Есть также обмотки и контакты, обозначаемые буквой М (М0.0, М0.1, М1.0 и т.д.). Такие обмотки можно представить как рабочие обмотки «внутренних» реле контроллера, контакты которых переключаются при прохождении на обмотку сигнала от вир-

туальной шины питания.

Рассмотрим пример применения ПЛК для реализации задачи 2. В данном случае привод будет состоять из электрической и пневматической частей и управляющей программы (рис. 28).

В исходном состоянии шток цилиндра втянут, кнопки «Пуск» и «Стоп» отжаты.

Напряжение на входы I0.0 и I0.1 не поступает, соответственно в вычислительной цепочке Network 1 контакты I0.0 и I0.1 разомкнуты, следовательно сигнал на обмотку M0.0 не поступает.

В то же время, при отжатой кнопке «Стоп» поступает «1» на вход I0.2, соответственно контакт I0.2 в цепочке Network 1 замкнут (а в цепочке Network 3 - разомкнут).

Кроме того, при втянутом штоке нажат ролик датчика Д1, соответственно замкнут контакт I0.3 в цепочке Network 2.

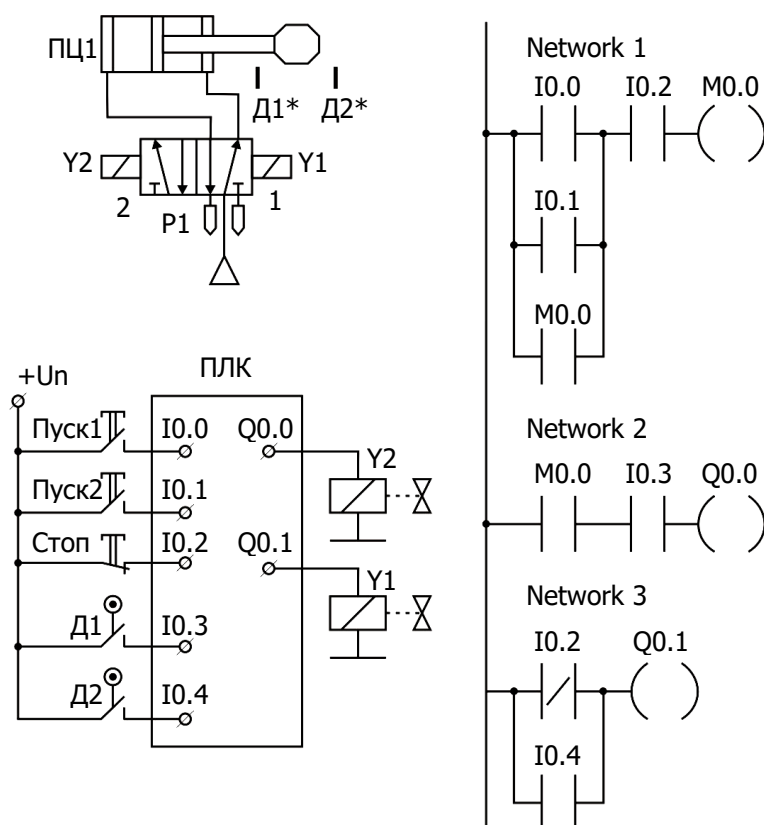


Рис. 28. Схема пневмоэлектрического привода к задаче 2 с устройством управления на основе ПЛК.

При нажатии одной из кнопок «Пуск», «1» поступает на вход I0.0 или I0.1, замыкается один из соответствующих контактов в цепочке Network 1 и на обмотку M0.0 поступает сигнал по цепи: ВШП - I0.0 или I0.1 - I0.2 – M0.0.

При этом замыкается контакт M0.0 в цепочке Network 1 и ставит обмотку M0.0 на самоблокировку. В Network 2 M0.0 также замыкается, поэтому поступает сигнал на обмотку Q0.0 (I0.3 замкнут, т.к. нажат ролик Д1). На выходе Q0.0 контроллера появляется напряжение, включается электромагнит Y2, распределитель P1 переключается в позицию 2, шток цилиндра выдвигается.

При достижении штоком крайнего вытянутого положения, замыкается контакт датчика Д2, поступает напряжение на вход I0.4, и в Network 3 контакт I0.4 замыкается. При этом сигнал проходит на обмотку Q0.1, на соответствующем выходе контроллера появляется напряжение и включается электромагнит Y1. Распределитель P1 переключается в позицию 1 (Y2 выключен,

т.к. при выдвижении штока размыкается контакт Д1), шток цилиндра втягивается.

Когда шток втянут, контакт Д1 – замкнут, Д2 – разомкнут. Соответственно I0.3 в Network 2 замкнут, I0.4 в Network 3 – разомкнут. Снова включается Y2, а Y1 - выключен. Шток цилиндра выдвигается. Таким образом, шток цилиндра будет совершать возвратно-поступательные движения.

При нажатии кнопки «Стоп» её контакт размыкается, напряжение на вход I0.2 не поступает, контакт I0.2 в Network 1 размыкается, а в Network 3 – замыкается. При этом обмотка M0.0 отключается, распределитель P1 переключается в позицию 1, схема возвращается в исходное состояние.

Следует отметить, что помимо контактов и обмоток, язык LAD содержит ещё целый ряд блоков, позволяющих реализовывать выдержку времени, подсчёт количества событий и множество других функций. Важным преимуществом ПЛК является также возможность изменения алгоритма работы только за счёт изменения программы, без изменения электрических и пневматических соединений.

Однако, при выборе варианта построения устройства управления следует в первую очередь ориентироваться на требования техники безопасности, условия окружающей среды и стоимость устройств для создания системы управления.

Расчет и выбор параметров пневмолиний

Воздухопроводы предназначены для передачи энергии сжатого воздуха от компрессора к месту потребления и между различными элементами пневматического привода.

Важной характеристикой воздухопровода является величина потерь энергии при транспортировании сжатого воздуха и в первую очередь потерь на пневматическое сопротивление. Воздухопровод должен обеспечивать

прохождение необходимого количества сжатого воздуха при возможно малой потере давления. Общая потеря давления от компрессора до потребителя не должна превышать 5—10% величины рабочего давления. Эта общая потеря $\sum \Delta p_i$ равна сумме гидравлических сопротивлений прямых участков воздухопровода и местных сопротивлений (изгибов, поворотов, клапанов, регулирующих устройств и т. п.).

$$\Delta p = \sum \Delta p_{mp} + \sum \Delta p_m$$

Расчет параметров пневмомагистралей

Расчет пневмомагистрали сводится к определению диаметра его участков.

Внутренний диаметр пневмомагистрали определяется выражением

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot V_{\text{воз}} \cdot \rho}},$$

где G – массовый расход воздуха, кг/с;

$V_{\text{воз}}$ – скорость сжатого воздуха, м/с;

ρ – плотность воздуха при давлении в воздухопроводе, кг/м³.

При расчете диаметра пневмомагистрали необходимо исходить из максимальной величины расхода.

Реальная скорость воздуха в воздухопроводах зависит от многих факторов, в том числе от размеров и назначения воздухопровода.

В магистральных воздухопроводах в зависимости от их протяженности, рабочего давления и расхода воздуха, затрат на укладку и эксплуатацию скорость воздуха принимается от 6 до 12 м/с. Для предприятий с относительно малой протяженностью магистралей (до 300 м) при давлении воздуха до 6 - 7 бар скорость принимается 10 - 12 м/с.

Для напорных, выхлопных и других трубопроводов, соединяющих элементы пневматического привода, рекомендуемые максимальные скорости движения воздуха составляют 16 - 40 м/с при давлениях 1 - 10 бар. Меньшие значения скорости принимают при высоких рабочих давлениях.

Уменьшение скорости воздуха при тех же величинах расходов может привести к увеличению проходных сечений воздухопроводов и пневматической аппаратуры и неоправданному увеличению размеров и веса всего пневматического привода.

Ориентировочно можно определить диаметр пневмомагистрали по номограмме (рис. 29) рекомендуемой фирмой «Camozzi Pneumatic». По заданным значениям длины трубопровода и требуемому расходу откладываются точки на шкалах «длина трубопровода» и «расход». Далее проводится прямая линия через полученные точки до ее пересечения с прямой «А». Также по заданным значениям давления на входе в пневмомагистраль и желаемому падению давления на этом участке откладываются точки на шкалах «давление» и «падение давления». Проводится прямая линия через полученные точки до ее пересечения с прямой «В». Через точки на прямой «А» и «В» проводится прямая линия и на шкале «внутренний диаметр» определяем внутренний диаметр трубопровода и присоединение.

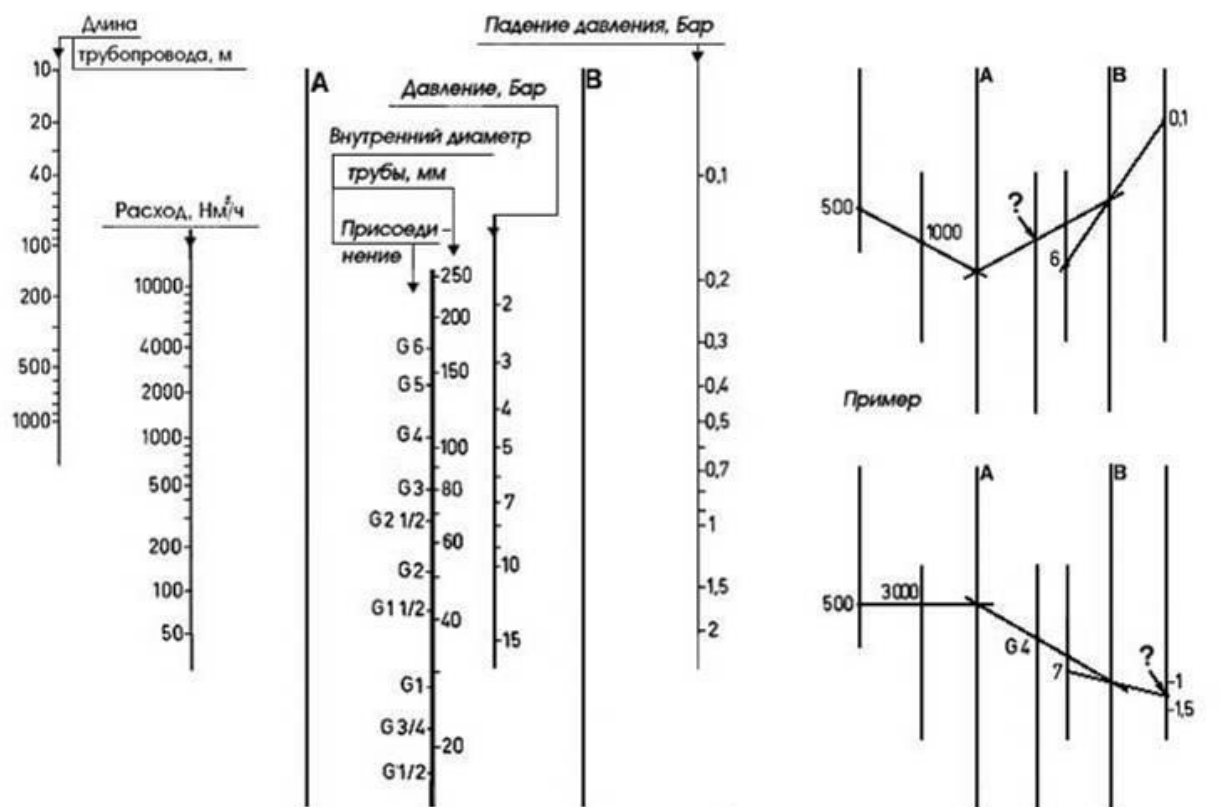


Рисунок 29 – Номограмма для определения внутреннего диаметра магистрального трубопровода.

Определить ориентировочно диаметр пневмолинии привода можно по расходно-перепадной характеристике (рис.30) рекомендованной «Camozzi Pneumatic».

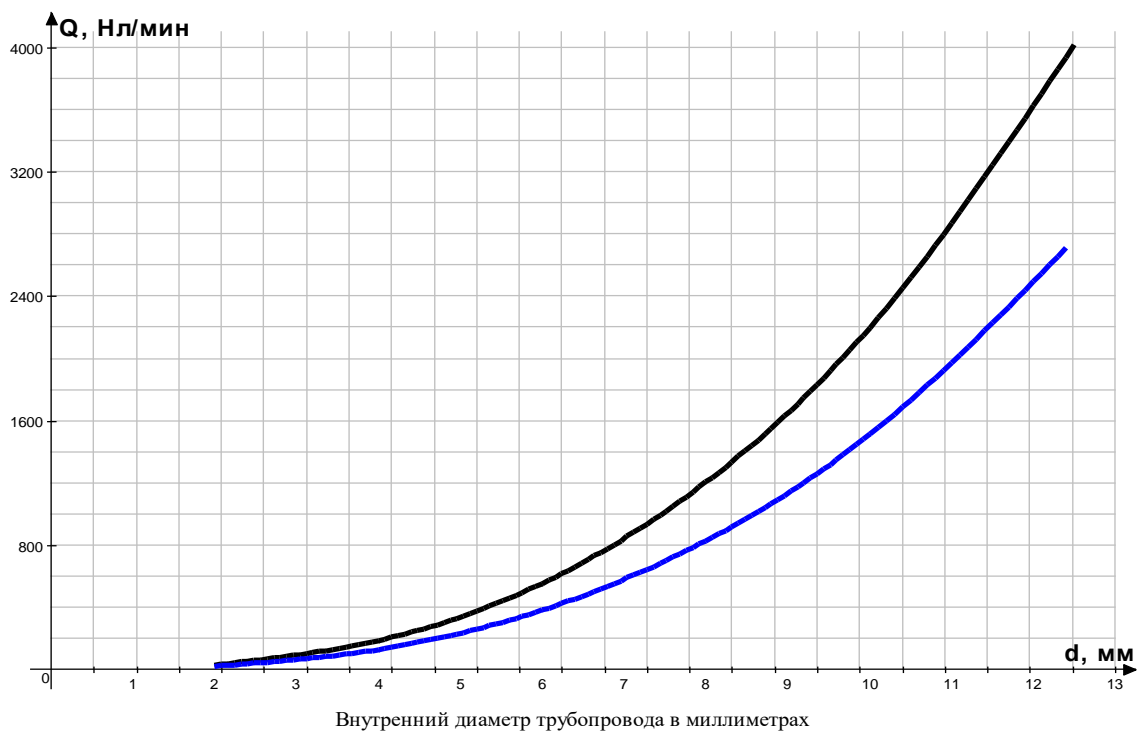


Рисунок 30 – Расходно – перепадная характеристика гибкого трубопровода.

Материал воздухопроводов и соединений.

В зависимости от назначения и размеров воздухопроводы могут быть жесткими или гибкими.

Гибкие воздухопроводы применяют в тех случаях, когда нужно подвести сжатый воздух к пневматическим устройствам, закрепленным на узлах и механизмах, имеющих относительное перемещение, или когда один конец может подсоединяться к разным потребителям. Гибкие воздухопроводы удобнее для монтажа, особенно в труднодоступных местах.

В качестве жестких воздухопроводов применяются трубы из черных и цветных металлов, а также из пластмасс. Для воздухопроводов небольших диаметров обычно используют медные и латунные (до $\varnothing 25$ мм), а также нейлоновые (до $\varnothing 15$ мм) трубы // . Применяются также трубы из алюминиевых сплавов и стали.

Для воздухопроводов больших диаметров используются стальные трубы, реже (при диаметрах свыше 150 мм) - чугунные. Стальные и чугунные трубы должны быть снабжены покрытием, стойким к воздействию коррозии (омеднение, смолы, лакокрасочные покрытия и т. д.).

Трубы из цветных металлов не требуют специальных покрытий против коррозии и легко гнутся. Это облегчает их монтаж, однако стоимость их повышается.

В качестве гибких воздухопроводов применяют маслостойкие резинотканевые шланги (рукава), нейлоновые, полиэтиленовые, полиуретановые и полихлорвиниловые трубки. Достоинством гибких воздухопроводов из синтетических материалов является их высокая стойкость против коррозии, воздействия масел и других веществ, присутствующих в сжатом воздухе; они режутся ножом, что позволяет избегать попадания в воздухопровод мелкой металлической стружки.

При соединении трубопроводов с пневмоаппаратурой необходимо обеспечивать их полную герметичность. Утечки сжатого воздуха увеличивают энергопотребление пневмосистемы, могут нарушать цикл работы элементов пневмооборудования, а также приводят к перегрузкам фильтров и осушителей. Опыт эксплуатации пневмосистем показывает, что 30% энергопотерь приходится именно на плохие соединения.

Пневмораспределители

Пневмораспределители выбирают, исходя из требуемых схемы исполнения, вида управления, пропускной способности, диапазона изменения давления, скорости переключения. Важен и выбор конструкции, так как от нее в большой степени зависят не только вышеперечисленные характеристики, но и надежность, долговечность, чувствительность к воздействию температуры, загрязнений и других факторов в процессе эксплуатации.

Выбор типа распределительного элемента

При выборе пневмораспределителя необходимо проанализировать приведенные ниже преимущества и недостатки каждого типа распределительного элемента применительно к особенностям и условиям работы данного пневматического привода.

Пневмораспределители с цилиндрическим золотником (рис. 31,а) имеют следующие преимущества перед другими типами:

- так как золотник разгружен, требуется небольшое усилие для переключения (в конструкциях без эластичных уплотнений или на плавающих кольцах). Это позволяет применять их с различными видами управления и использовать для пневматического управления низкое давление порядка 0,7 - 1,4 атм;
- простота конструкции - одна подвижная деталь (не считая уплотнений);
- число двойных ходов в минуту до 250—600.

Срок службы зависит от способа уплотнения и составляет: для распределителей с притертым золотником - до $20 \cdot 10^6$ двойных ходов; для конструкций с плавающими кольцами - до $(3-4) \cdot 10^6$ двойных ходов; для конструкций с манжетами - до $2 \cdot 10^6$ двойных ходов; для конструкций с кольцами обычной точности - до $5 \cdot 10^5$ двойных ходов.

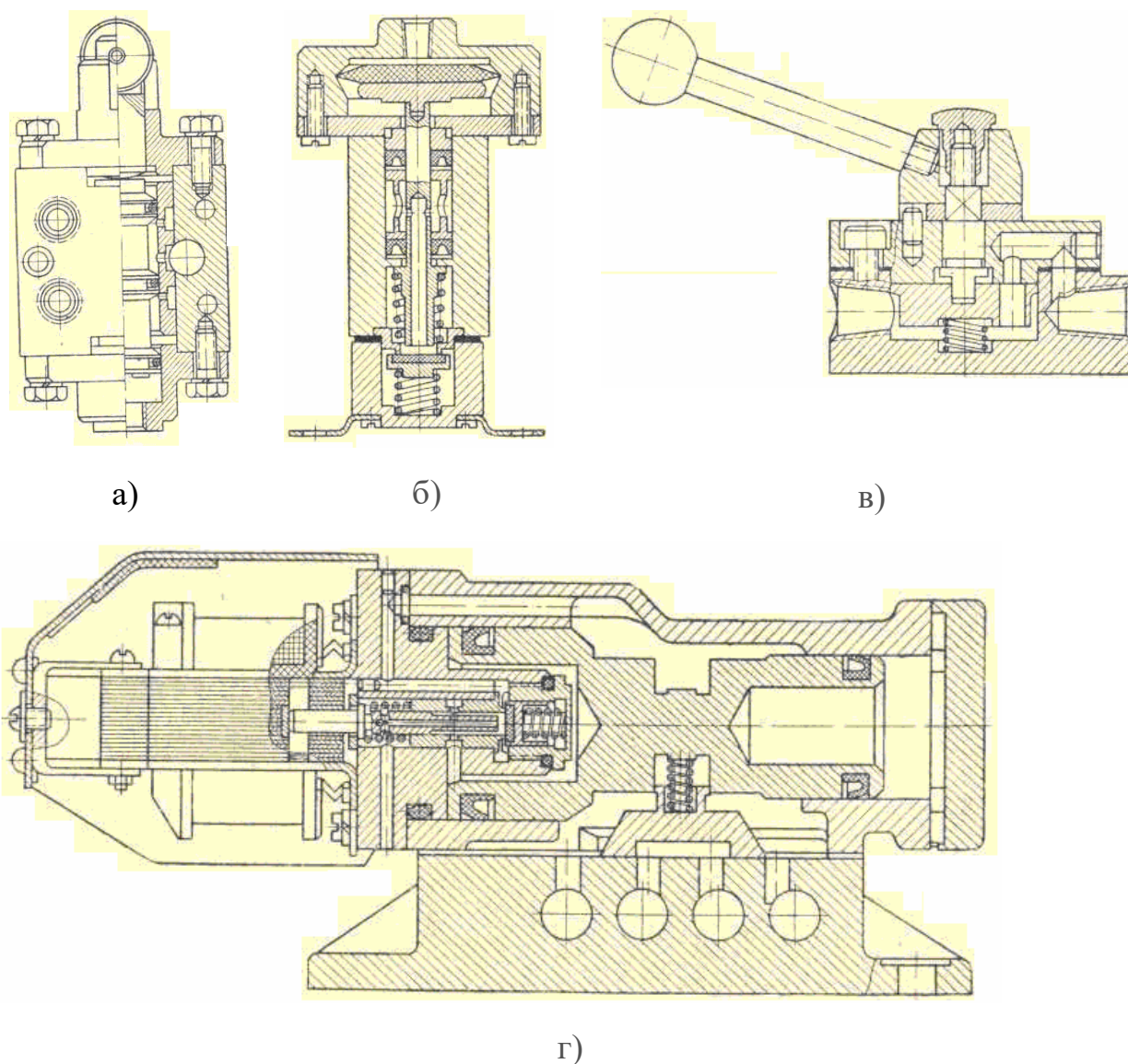


Рисунок 31 – Конструкция пневмораспределителей:

а – с цилиндрическим золотником на плавающих кольцах и с путевым управлением; б – клапанный типа В76-2 с односторонним пневмоуправлением; в - типа В71-1 с плоским поворотным золотником; г – типа В64-2 с плоским поступательно перемещающимся золотником и односторонним пневмоэлектрическим управлением.

К недостаткам пневмораспределителей с цилиндрическим золотником следует отнести относительно большой ход золотника (особенно для трехпозиционных распределителей) высокую чистоту обработки рабочих поверхностей и высокие требования к точности и материалу резиновых уплотне-

ний, подверженных износу и разрушению при воздействии загрязнений и при пересечении кромок.

Клапанные пневмораспределители (рис.31,б) имеют следующие преимущества перед другими типами:

- малый ход распределительного элемента, вследствие чего они могут обладать высоким быстродействием (до 1200 двойных ходов в минуту);
- простота конструкции для двух- и трехлинейных распределителей;
- возможность работать в относительно тяжелых условиях - вибрации, загрязненности сжатого воздуха и т. д.;
- невысокие чистота и точность изготовления;
- пригодность для всего диапазона рабочих давлений и расходов воздуха, применяемых в пневматическом приводе;
- относительно небольшие затраты на ремонт и эксплуатацию;
- срок службы достигает $(3-5) \cdot 10^6$ двойных ходов;

Недостатки клапанных пневмораспределителей:

- значительные усилия переключения ограничивают их применение в схемах с низкими управляющими давлениями без усилителей; по той же причине ручное и электромагнитное управление для большинства распределителей клапанного типа с условными проходами более 16 мм нецелесообразно;
- перепуск сжатого воздуха в некоторых конструкциях при переключении распределительного элемента;
- сложность конструкции трехпозиционных клапанных распределителей.

Пневмораспределители с плоским золотником (рис.31,в) и г)) имеют следующие преимущества перед другими типами:

- способность компенсировать износ рабочих поверхностей за счет самотитровки;

- меньшая чувствительность к загрязнениям, чем у распределителей с цилиндрическим золотником на резиновых уплотнениях. Острые кромки золотника счищают с поверхности плиты грязь и даже лед;

- простота конструкции, число двойных ходов в минуту до 250—600;

- при изготовлении золотника из синтетических материалов типа тефлон срок службы может достигать $20 \cdot 10^6$ двойных ходов.

Недостатки пневмораспределителей с плоским золотником:

- относительно большой ход распределительного элемента для большинства конструкций;

- относительно большое усилие для переключения, что усложняет ручное, механическое и электромагнитное управление;

- как правило, неприемлемы для больших проходных сечений (D_y более 25 мм);

требуют применения высококачественных материалов, высокой точности и чистоты рабочих поверхностей основных деталей;

сложность ремонта.

Присоединительная резьба в выхлопных отверстиях пневмораспределителя позволяет применять глушители и дроссели без обратного клапана.

Следует отметить, что для регулирования скорости хода поршня пневматического цилиндра, дроссель не рекомендуется устанавливать на выхлопной линии после распределителя с плоским золотником, так как при большом подпоре в выхлопной полости может произойти отрыв золотника от плиты.

Как видно из сказанного, каждый из типов распределительного элемента при соответствующих условиях обладает известными преимуществами перед другими, чем и объясняется широкое применение всех перечисленных типов в современных конструкциях пневмораспределителей.

Например, клапанные пневмораспределители благодаря нетребовательности к степени очистки воздуха и высокой надежности применяются в пневматических приводах кузнечно-прессовых машин, а также в пневматических приводах машин для самых малых и самых больших условных проходов (3 - 8 мм и более 25 мм); поворотный золотник получил самое широкое применение в простых и надежных конструкциях кранов с ручным управлением; распределители с цилиндрическим золотником вследствие их простоты, малых усилий управления, высоких возможностей унификации применяются в приводах с невысокой цикличностью и т.д.

Выбор вида управления.

Вид управления определяется при разработке принципиальной схемы привода. При этом учитываются требования к надежности привода и машины в целом, взрыво- и пожаробезопасность, быстродействие и др.

Пневматическое управление подачей давления является наиболее надежным видом управления для тяжелых условий работы (взрывоопасности, повышенной влажности и загрязненности атмосферы, высокой температуры и т. д.). Однако передача управляющего сигнала более чем на 20 м для пневматического управления не рекомендуется вследствие снижения быстродействия и увеличения расхода воздуха на управление. Пневматическое управление сбросом давления не рекомендуется применять при расстояниях более 0,6 - 2,4 м (в зависимости от конструкции распределителя и диаметра трубопровода). К тому же надежность системы при управлении сбросом давления ниже, чем при управлении подачей давления.

Пневмораспределители с электромагнитным и электропневматическим управлением применяются в случаях, когда необходимо передать управ-

ляющий сигнал на большие расстояния или при совместной работе электрической и пневматической систем машины.

Ориентировочные значения времени переключения для различных видов управления следующие:

ручное управление - 0,2 - 0,3 с;

электромагнитное управление — 0,03 - 0,1 с;

электропневматическое управление — 0,03 - 0,15 с;

пневматическое управление — 0,05 - 0,1 с.

Время срабатывания увеличивается с увеличением размеров пневмораспределителя, величины хода и усилия переключения.

При выборе оптимальной величины давления в системе управления следует учитывать, что его увеличение уменьшает время заполнения управляющей полости, но увеличивает время опорожнения ее.

Время переключения распределителей с механическим управлением зависит от профиля управляющего кулачка и скорости его перемещения;

Для увеличения быстродействия системы пилоты должны располагаться возможно ближе к главному пневмораспределителю. При большой длине трубопроводов, питающих пилоты, время передачи управляющего сигнала можно уменьшить путем установки небольшой емкости в линии питания пилота. Размеры емкости выбираются в зависимости от размеров распределителя, величины хода и управляющего давления.

Выбор условного прохода пневмораспределителя.

В пневматических приводах общего применения (например, для зажима, транспортирования, загрузки и др.), когда время срабатывания воздухо-распределителя не регламентируется или когда оно существенно меньше времени перемещения исполнительного органа, условный проход распреде-

лителя можно выбирать, исходя лишь из статической пропускной способности распределителя, указанной в технической характеристике.

Часто изготовители пневмораспределителей (Camoszzi Pneumatic) в технических характеристиках используют понятие нормального объемного расхода – объемный расход воздуха через пневмоаппарат при условии, что давление на его входе равно 6 бар, а на выходе – 5 бар и расход определяется при нормальных условиях, т.е. при атмосферном давлении и температуре воздуха 20°C. В этом случае объемный расход воздуха через пневмораспределитель необходимо привести к нормальным условиям.

Если пневмораспределитель используется для быстрого заполнения небольшого объема, то при выборе условного прохода необходимо учитывать и время срабатывания распределителя, распределитель с меньшим проходным сечением и с большей скоростью срабатывания может быть более эффективным, чем распределитель с большим проходным сечением, но невысокой скоростью срабатывания.