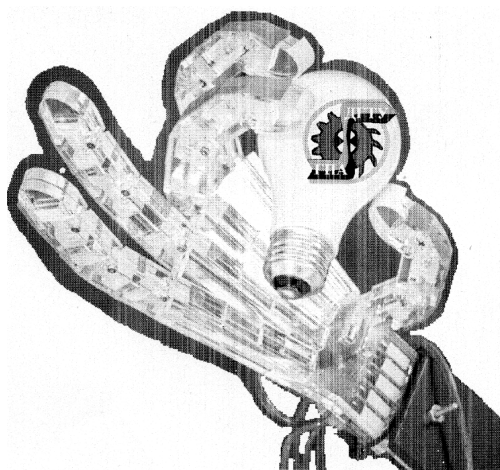


В.С. Сидоренко,
Д.Д. Дымочкин,
В.И. Грищенко

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПРИВОД



Ростов-на-Дону 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.С. Сидоренко, Д.Д. Дымочкин, В.И. Грищенко

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПРИВОД

Учебное пособие

Ростов-на-Дону 2025

Рассмотрены варианты проектных заданий, методология схмотехнического поиска автоматизированных пневматических приво

дов технологического оборудования; построение принципиальных схем, циклограмм, схем управления; выбор элементной базы по параметрам и характеристикам пневмопривода.

Рекомендуется для студентов технических вузов, аспирантов, научно-технических работников предприятий и организаций.

Введение

Современные технологические и транспортные машины и комплексы оборудования обладают многообразием исполнительных движений их целевых механизмов и агрегатов. Они характерны для автоматизированных технологических систем, основой которых в настоящее время являются элементы электро- и гидропневмоавтоматики, устройства вычислительной и микропроцессорной техники.

Автоматизированные пневматические приводы, имея известные преимущества – пожаробезопасность, экологичность, высокое быстродействие, надежность, гибкость компоновки в ограниченном пространстве, – позволяют рационально решать задачи автоматизации процессов и машин с меньшими затратами времени и средств. Так, более 40% современного технологического оборудования ведущих производителей оснащено автоматизированным пневмоприводом (АПП). Это упаковочные машины – 90%, сварочные и литейные машины – 70%, робототехника – 60%, кузнечно-прессовые машины – 45%, деревообрабатывающие станки, пищевое оборудование до 30%. В металлообработке широко применяют АПП в зажимных, фиксирующих, ориентирующих, транспортирующих, сборочных и контрольно-измерительных устройствах. При этом удается ограничить или исключить участие оператора в тяжелых и монотонных опера-

циях и повысить производительность оборудования в 1,5-4 раза [1, 2, 8].

Эффективность создаваемых пневмоприводов повышается при использовании инженерных методов расчета и систем автоматического проектирования (САПР), новых материалов и технологий изготовления, сборки, стандартизацией и унификацией элементной базы электропневмоавтоматики на основе международных стандартов ISO, а также при внедрении цифровой и пропорциональной техники (мехатронных модулей), модульном построении АПП, производстве комплектных приводов «под ключ» и др.

Успешное решение проектных задач невозможно без понимания стратегии и методологии создания комбинированных систем, электро-пневмоприводов и автоматики, а также устойчивой практики приобретения навыков и умений для грамотного решения задач схемотехнического поиска и проектирования промышленных автоматизированных приводов [3, 4, 8].

В качестве объекта автоматизации в пособии рассматриваем промышленный робот с разными степенями подвижности, обеспечиваемыми автоматизированными пневмоприводами, на их основе составлены варианты проектных заданий.

Авторы старались сохранить обобщенный подход к проектированию автоматизированного привода, что позволяет использовать пособие для других технических объектов автоматизации различных процессов, технологических и транспортных машин.

1. ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПНЕВМОПРИВОДА

Рассмотрим стратегию поиска и реализации схмотехнического решения рационального АПП применительно к реальному объекту, в качестве которого предлагается промышленный робот. Робототехника традиционно использует передовые достижения машиностроительной техники, которые успешно тиражируются в промышленных стационарных и мобильных установках. Поставленная цель достигается решением задачи синтеза в несколько этапов [3, 7].

Для решения задачи выбирается промышленный робот (ПР) с четырьмя исполнительными движениями [3]. Каждое движение либо их группа предлагается в качестве проектных заданий. Главным итогом первого этапа работ является четкая постановка задач проекта, во многом регламентирующих затраты времени и сил разработчика. Кроме того, на основе объективной оценки состояния вопроса, сравнительного анализа известных аналогов представляется возможность выбрать направления поиска решения и на втором этапе сделать технические предложения для его реализации.

Современная стратегия создания автоматизированных пневмоприводов исполнительных движений машин и агрегатов подчиняется возрастающим требованиям к уровню их автоматизации, быстродействию, точности и качеству исполнения [10].

Достижение задаваемого уровня, даже при современной элементной базе, невозможно без автоматизированных систем управления приводами. Они должны выполнять не только функции регулирования их характеристик, но и логические, и вычислительные операции, что необходимо для организации рабочих циклов привода по заданным алгоритмам. При этом становится заметным смещение акцентов при проектировании АПП от силового контура к информационному.

Рассматривая замкнутые дискретные рабочие циклы целевых механизмов машин, необходимо использовать основы построения машин-автоматов.

Сегодня пневмоавтоматика предлагает унифицированные системы (УСЭППА, ПЭРа, Волга, и др.), позволяющие успешно решать задачи управления и строить АПП на едином энергоносителе – сжатом воздухе [1, 10]. Используя энергию предварительно сжатого газа, пневмопривод во многом повторяет основные закономерности поведения других аналогов: механического, электрического и гидравлических приводов [3, 5], имеет те же внешние характеристики, требования к быстродействию и точности, безопасности и др. Аналогично известным пневмоприводам он взаимодействует с рабочей зоной машины или агрегата, подвергаясь воздействию тех же составляющих внешних нагрузок (технологических, трения, позиционных, инерционных). Поэтому используя общую стратегию разработки приводов исполнительных движений, можно разрабатывать и пневмоприводы. Однако в этих случаях проектные решения оказываются далекими от рациональных.

Причина в том, что сжатый газ по сравнению другими энергоносителями – жидкостью и электричеством – имеет особенности как рабочее тело привода. Обусловлено это свойствами и параметрами состояния газов. Так, плотность газов в 800 раз меньше плотности минеральных масел, поэтому пневмоприводы имеют максимальное быстродействие (в последнее время успешно применяются «стреляющие» приводы); существенная сжимаемость газов ухудшает динамические качества привода, устойчивость и равномерность движения; сложная связь давления, плотности и температуры газа, устанавливаемая уравнением Клайперона – Менделеева, приводит к необходимости учета термодинамических процессов, протекающих в газах; существенным является и отсутствие смазывающей способности у газов. Даже только указанные особенности газов вносят заметные отличия в конструкцию и характеристики ПП.

Области применения пневмосистем определяются особенностями поведения газов, проявляемыми в условиях различных пневмомеханических процессов, предъявляемых требований к решаемой задаче: силовой, путевой, управления, вспомогательной, поддержки жизненного цикла и процесса жизнедеятельности. Некоторые типовые примеры приведены в табл. 1 [1, 9].

Таблица 1

Области применения пневмопривода

Задача	Технические и рабочие функции, виды пневмосистем
Силовая	Силовые приводы целевых механизмов технологического оборудования: <ul style="list-style-type: none"> • зажимные • технологические • транспортные • подъемные
Позиционная	<ul style="list-style-type: none"> • позиционные • контурные
Управление процессами, приводом	<ul style="list-style-type: none"> • цикловые • позиционные • следящие • САР • САУ
Формирование рабочей зоны	<ul style="list-style-type: none"> • поддержание оптимального теплового режима в рабочей зоне (системы кондиционирования охлаждения, нагрева, вентиляции, топливные) • поддержание взаимного расположения и смазки подвижных сопряжений деталей машин (газовые подшипники, статические и динамические подшипники)
Поддержание жизненного цикла и процессов жизнедеятельности	<ul style="list-style-type: none"> • тепловодоснабжение • вентиляция • вентиляция дыхания • приводная медицинская техника • системы пожаротушения • приводы и автоматика пожаро- и взрывоопасных производств
Энергетика	<ul style="list-style-type: none"> • альтернативные источники электроэнергии • преобразование энергии потока жидкостей и газов

Схемотехническому поиску АПП предшествует ответственный этап обоснования выбора вида привода для решаемой задачи [1,3]. Как показывает опыт, проектирование систем приводов, как правило, предлагает малоэффективный, либо нецелесообразный проект.

Для формирования обоснованных предпочтений предлагается табл. 2, где в многокритериальной постановке сравниваются известные виды приводов: электрический, гидравлический, пневматический. Во многих случаях целесообразно принимать комбинированные (смешанные) виды систем приводов: электрогидравлический, пневмогидравлический, электропневматический [9, 10].

Таблица 2

Сравнительная оценка различных видов приводов

Характеристика обозначения	Привод		
	электрический	гидравлический	пневматический
1	2	3	4
Развиваемое усилие F	Максимальное усилие перегрузки не допускается	$F_{\max} < 3000 \text{ Кн}$ автомат. защита от перегрузки	$F_{\max} < 30 \text{ Кн}$, автомат. защита от перегрузки, работа на «упор»-бесконечно
Путь (перемещение) L:			
линейное	Затруднительно дорого с малыми F_{\max}	Просто с большими F_{\max} , устойчивое управление скоростью в широком диапазоне	Просто, среднее усилие, скорости зависит от $F(t)$
вращательное	Просто, большая мощность	Просто, высокий крутящий момент при малой частоте вращения	Просто, малые $M_{кр}$, высокая частота вращения
Положение после останова ΔL	$\leq \pm 1 \text{ мм}$	$\geq 1 \text{ мм}$	$\geq 100 \text{ мкм}$
Скорость V	Определяется рабочим процессом	$\leq 0.5 \text{ м/с}$	$< 40 \text{ м/с}$
Жесткость C_i	Высокая за счет механических передач	Высокая – жидкости мало сжимаемы	Низко – газы сжимаемы существенно
Затраты на обеспечение энергии $3t$	Низкие – 1 у.е	Средние – 3....5 у.е	Высокие – 7....10 у.е
Накопление энергии N	Затруднено	Ограничено	Просто осуществимо

Окончание табл. 2

1	2	3	4
Безопасность	Пожаро- и взрывоопасен	Пожароопасен	Пожаро- и взрывобезопасен
Экологичность	Невысокое вредное воздействие электромагнитных колебаний	Создает токсичные загрязнения	Нет вреда
Дистанционность, скорость передачи сигнала Lc	Передача сигналов $3 \cdot 10^5$ м/с	Передача сигналов $(1.2 \dots 1.4) \cdot 10^3$ м/с	Передача сигналов меньше 1000 м/с (скорость звука)

Экстраполируя возможности пневмосистем на машиностроение, отметим те его отрасли, в которых широко используют автоматизированные пневмоприводы.

Отрасль промышленности: Процент пневмоавтоматики в оборудовании

Пищевая.....	15.5
Общее машиностроение.....	15
Лакокрасочная.....	13.8
Текстильная.....	9.8
Бумажная.....	9.3
Деревообрабатывающая.....	8.9
Специальное машиностроение.....	7.4

Среди отраслей промышленности, потребителей пневмоавтоматики ведущей фирмы «Camozzi Pneumatic», – энергетика, металлургия, судостроение, автомобилестроение, нефтяная, авиакосмическая и железнодорожная промышленность. Объем поставок в эти отрасли с 2000г увеличился более, чем в 2 раза [8, 9]. Это весомые аргументы в пользу пневмоприводов и автоматики как перспективные направления развития современной техники.

Широкое применение АПП в различных отраслях машиностроения объясняется эффективным решением ими силовых и транспортных задач. Обобщенная траектория исполнительных движений представлена на рис. 1.

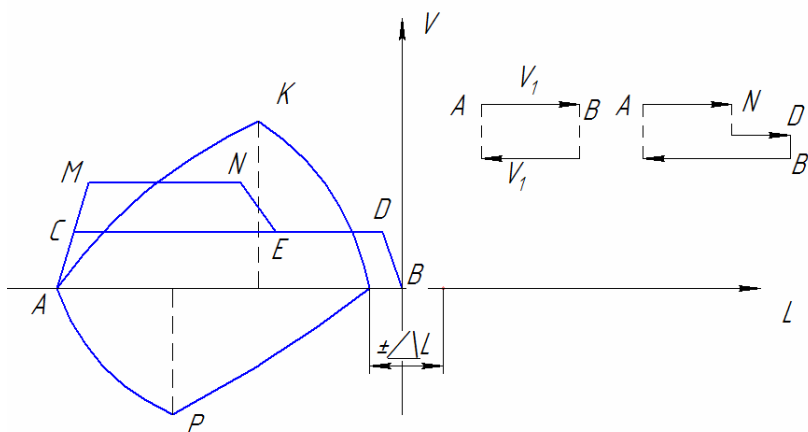


Рис. 1. Типовые траектории исполнительного движения целевого механизма

Рисунок позволяет описать кинематическую задачу; силовая задача представлена диаграммой сил и будет рассмотрена дальше, в гл. 3. Здесь же нагрузку прямого хода обозначим F_{BH1} , обратного F_{BH2} , причем $F_{BH1} > F_{BH2}$. Точки А, В фиксируют конечные положения выходного звена пневмоцилиндра (ПЦ). В зависимости от резерва мощности привода на участке АВ возможны различные траектории. Чаще используют «трапецию» ACDB, в быстроходных позиционных АПП – «ступенчатую» AMNEDB, в быстродействующих позиционных – «колокол» AKB. Последняя обеспечивает минимальное время перемещения и называется оптимальной (AK – разгон, KB – торможение).

Автоматизированное технологическое оборудование имеет замкнутые рабочие циклы (ACDBPA, AMNEDBPA, AKBPA), повторяемые многократно. Траектория BPA поясняет обратный ход ПЦ, возврат ЦМ в исходное положение для совершения следующего рабочего цикла. Таким образом, организация и исполнение рабочих циклов в реальном пространстве времени требует автоматизированного управления его параметрами: перемещение L , положение ΔL , скорость V , сила F , организация рабочего цикла. Во многих случаях необходимо управление их отклонениями: $\Delta F_{пц}$, ΔV . Рассмотрение обобщенной траек-

тории позволяет формировать стратегии, способы и средства управления её исполнением в реальном АПП.

Рекомендуемая последовательность решения задач проектирования характеризуется следующими этапами:

1. Анализ служебного назначения, особенностей функционирования, компоновки технологической машины или комплекса оборудования с выделением целевых механизмов, предлагаемых к автоматизации.

2. Анализ рабочей зоны объекта рабочих процессов в реальном времени и пространстве.

3. Определение состава и характеристик исполнительного(ных) движений ЦМ, выделение движения(ий), для которого разрабатывается АПП.

4. Схемотехнический поиск структуры и схемы привода, состава элементной базы.

5. Разработка силовой и механической подсистем привода. Выбор серии и типоразмеров пневмоаппаратов и механических передач.

6. Разработка подсистем управления приводом. Выбор типоразмеров элементной базы способа исполнения схемы соединения.

7. Оценка полноты решения задач проекта, степени достижения поставленной цели и технико-экономической целесообразности и практической значимости проекта.

Целью ожидаемых проектных решений АПП является систематизация современных подходов к построению быстроходных позиционных пневмоприводов на основе системного подхода к созданию перспективной техники для необходимого формирования навыков и умений при решении задач поиска и реализации перспективных проектных решений в приводной технике.

Основная проблема позволяет сформулировать задачи, решения которых обеспечит достижение поставленной цели:

- Составление технического задания на разработку автоматизированного пневмопривода.

- Оценка состояния вопроса на основе информационного и патентного поиска известных решений с выделением конкурирующих решений и выбором аналога.

- Анализ объекта автоматизации, обоснование выбора вида и типа привода.
- Определение структуры силовой и механической подсистем привода.
- Определение алгоритма управления АПП, структуры информационного канала-основы подсистемы управления.
- Выполнения расчетов параметров и характеристик на основе современных аналитических представлений.
- Обоснование и реализация технического способа исполнения электропневматической системы АПП.
- Выполнение основных правил компромисса в процедурах выбора серии и типоразмера пневматических устройств.
- Объективная оценка технико-экономической целесообразности предлагаемых решений по основным показателям эффективности перспективной техники.

2. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ. ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Задачу решаем применительно к реальному объекту автоматизации – промышленному роботу, имеющему четыре степени подвижности, на основе которых предлагаются варианты заданий на разработку однодвигательного АПП (для курсовых работ) или комплексного многодвигательного АПП (для курсовых и дипломных проектов).

2.1. Анализ объекта автоматизации

Поскольку целью разработки АПП является автоматизация рабочих циклов ЦМ с целью повышения эффективности оборудования, важной составляющей технического задания на разработку являются формирование данных, раскрывающих служебное назначение, количество степеней подвижности объекта автоматизации, его силовые, кинематические, энергетические характеристики, условия эксплуатации, требования к безопасности и экологичности.

В пособии в качестве примера рассматриваем робототехническое устройство (промышленный робот) [2], конструктивная схема которого представлена на рис. 2. Осуществляют пространственную ориентацию изделия 6, установленного в схвате 5, плечо робота 3, локоть 4 и схват, которые перемещаются пневмоцилиндрами ПЦ1, ПЦ2, ПЦ3, ПЦ4. Каждое исполнительное движение имеет свои функциональные особенности, что необходимо учитывать при выборе вида и типа АПП.

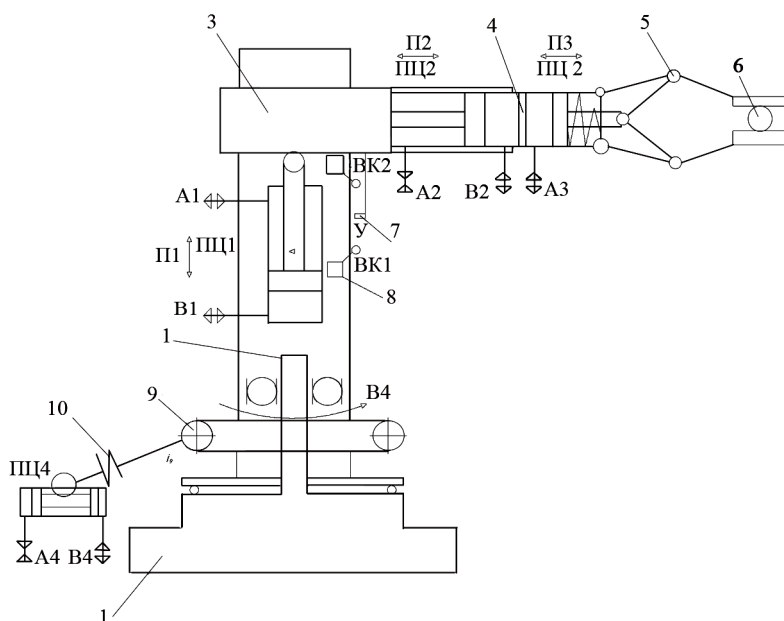


Рис. 2. Конструктивная схема промышленного робота:

1 – основание; 2 – стойка; 3 – плечо ПР; 4 – кисть ПР; 5 – схват; 6 – заготовка; 7 – подвижный упор Y ; 8 – выключатель конечный ВК1... ВК2; 9 – муфта; 10 – червячная передача с передаточным отношением i_9 ; П1 – вертикальное перемещение плеча 3 от пневмоцилиндра ПЦ1; П2 – выдвижение кисти ПР4 пневмоцилиндром ПЦ2; П3 – зажим схвата 5 пневмоцилиндром ПЦ3; В4 – поворот стойки 2 поворотным пневмоцилиндром ПЦ4

Характеристика исполнительного движения промышленного робота:

ПЦ1 – одноштоковый пневмоцилиндр двухстороннего действия с закруглённой гильзой, обеспечивает вертикальное перемещение руки ПР;

ПЦ2 – одноштоковый пневмоцилиндр двухстороннего действия с закреплённым штоком для движения локтя ПР вправо и влево;

ПЦ3 – одноштоковый пневмоцилиндр одностороннего действия для управления схватом;

ПЦ4 – поворотный пневмоцилиндр для углового перемещения руки.

Конструктивная схема робота (см. рис. 2) имеет напольное исполнение несущей системы, основание 1 и поворотную стойку 2, в круговых направляющих которой перемещается рука 3 с локтем 4 и кистью-схватом 5 для зажима заготовки 6. Вертикальное перемещение руки П1 осуществляется от ПЦ1 и ограничивается положением конечных выключателей 8 (ВК1 и ВК2), замыкаемых подвижным упором 7, закреплённым на корпусе руки 3. В кинематической схеме поворота стойки 2 с рукой 3 используется передаточно-преобразующий механизм, реализуемый передачей шестерня-рейка ПЦ4, муфтой 9 и червячной передачей 10. Таким образом, уже в техническом задании предпочтение отдаётся пневмоприводу, поэтому в проекте разработчик обосновывает объективность такого выбора (гл. 1).

Оценка служебного назначения ПР затруднения не вызывает, так как это типовое робототехническое устройство, обеспечивающее пространственную ориентацию и транспортирование различных деталей, заготовок при загрузке и разгрузке технологического оборудования

2.2. Состав и характеристика исполнительных движений

Задачей этого этапа является анализ рабочей зоны объекта автоматизации. Так, например для металлообрабатывающего оборудования рабочая зона формируется системой СПИД (станок – приспособ-

собление – инструмент – деталь). Формообразование поверхностей обрабатываемого материала осуществляется изменением пространственного расположения СПИД, достигаемым различными исполнительными движениями. В результате анализа рабочей зоны можно выделить метод и способ обработки, состав. В этом случае проще определить состав исполнительных движений и, главное, правильно их классифицировать по выполняемой функции.

Этот шаг является необходимым для выбора в дальнейшем типа привода, функционально достаточного для исполнения заданной траектории движения. Предлагаемая на рис. 3 классификация ИД позволяет уточнить состав и характеристики ИД объекта автоматизации – промышленного робота.

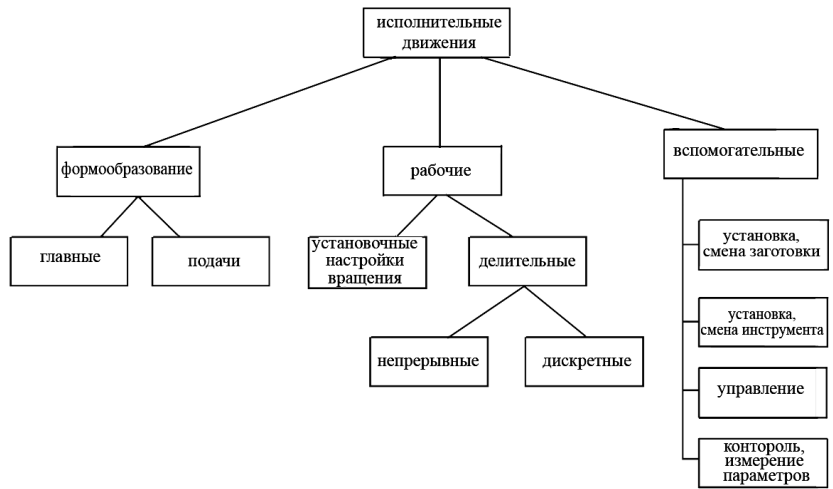


Рис. 3. Классификация исполнительных движений

Участвуя в работе станочного металлообрабатывающего комплекса, ПР осуществляет вспомогательные движения – пространственную ориентацию, установку обрабатываемой детали в трехмерном пространстве, образующем его рабочую зону (рис. 4).

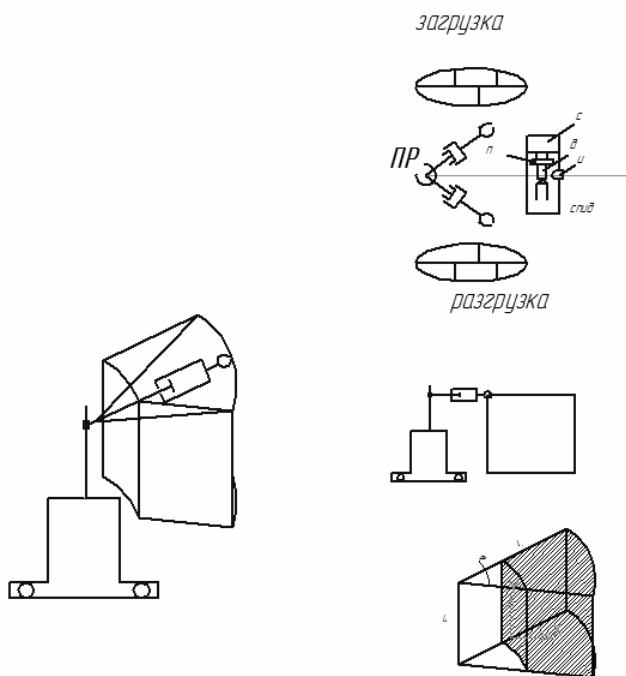


Рис. 4. Рабочая зона станочного комплекса

Задача разрабатываемой пневмомеханической системы одно-, двух-, трёх- или четырёхдвигательных приводов – перемещать схват с заготовкой в любую точку выделенного на рис. 4 пространства с максимальным быстродействием $T_{\text{ц}}$ и заданной точностью $\pm \Delta L$. Все четыре исполнительные движения являются вспомогательными. Отметим особенности каждого ИД:

П1 – вертикальное перемещение $L_{\text{в}}$ руки ПР3, цикловое или позиционное, с позиционной нагрузкой от веса механизма и детали б, максимальное быстродействие при заданной точности позиционирования и фиксацией положения.

П2 – горизонтальное перемещение $L_{\text{г}}$ локтя ПР4 в цикловом или позиционном режиме, с максимальным быстродействием

$T_{цг} \rightarrow \min$ и заданной точности $\pm \Delta L_r$, с замедлением в конце хода и фиксацией положения локтя.

ПЗ – продольное движение штока одностороннего цилиндра ПЦЗ вправо, преобразуемое рычажным преобразующим механизмом в поворотное зажимное движение схвата с большим усилием и фиксацией его максимального значения, даже при аварийной ситуации, если это условие безопасной работы не выполняется, ПР останавливается.

В4 – вращательное движение ϕ_n руки ПРЗ в цикловом или позиционном режимах с заданными быстродействием и точностью позиционирования.

3. РАЗРАБОТКА СИЛОВОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПНЕВМОПРИВОДА

Обосновав вид и тип привода и основные принципы управления исполнительными движениями, можно приступить к формированию структуры и принципиальной схемы привода. Автоматизированный пневмопривод (рис.5) образует три подсистемы: пневматическую (ПСП), механическую (МПС) и управляющую (УПС).

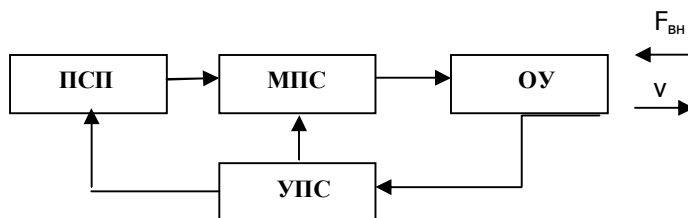


Рис. 5. Обобщенная структура АПП

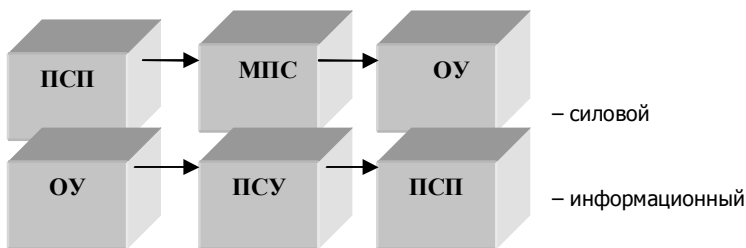
ПСП представляет силовой контур, обеспечивающий подготовку и формирование параметров и характеристик потока сжатого

воздуха, а затем преобразование его энергии в механическое движение выходного пневмодвигателя.

МПС обеспечивает согласование кинематических, силовых и энергетических характеристик пневмодвигателя с объектом управления.

ПСУ обеспечивает сбор и обработку информации о движении объекта управления и формирование управляющих воздействий на элементы ПСП и МПС для воспроизведения заданной траектории движения ОУ.

Таким образом, функциональная схема АПП реализуется следующими каналами:



Исполнение информационного канала определяет степень автоматизации АПП.

Время пространственной ориентации заготовки при четырех исполнительных движениях, формирующих траекторию, определяется алгоритмами их совместной или раздельной, параллельной или последовательной работой. Они раскрываются в дальнейшем диаграммами перемещений, включений управлений и общей циклограммой работы.

Характеристики исполнительных движений ПР представлены в табл. 3 и являются исходными расчетными данными для расчета АПП.

3.1. Построение расчетной схемы АПП

3.1.1. Полуконструктивная схема автоматизированного пневматического привода

Для построения расчетной схемы привода используем принципиальную схему и полуконструктивные схемы пневмоустройств. Поскольку основным блоком привода являются распределитель Р и пневмоцилиндр ПЦ, соединяемые трубопроводами, их представляем в полуконструктивном изображении с указанием основных параметров. Остальные элементы – узел подготовки воздуха УПВ, дроссели ДР1 и ДР2, глушители, перемещаемый объект m – представляем упрощенно, так как их исполнение принимаем после расчета ПЦ и Р. Для них по каталогам или справочникам [8] выбираем параметры (рис.6):

$D_1, D_2, L_{ш}$ – соответственно диаметр поршня, диаметр и длина штока;

d_1, d_2 – диаметры присоединительных отверстий цилиндра;

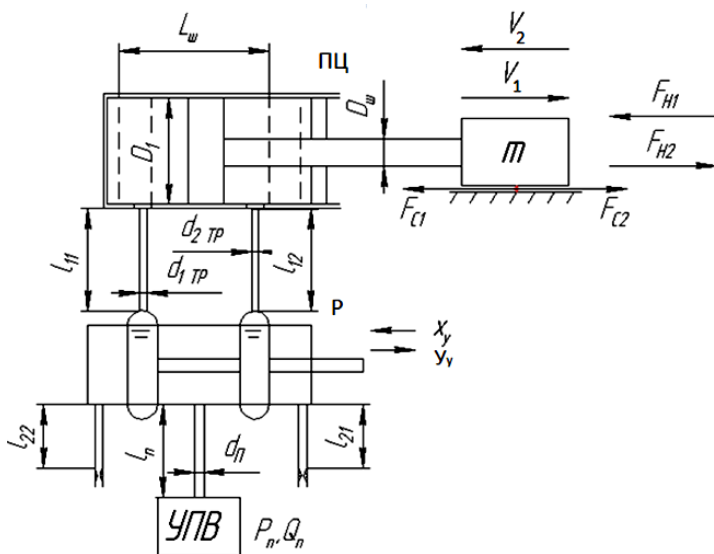


Рис. 6. Расчетная схема АПП

d_{1p}, d_{2p} – диаметры присоединительных отверстий распределителя;

$d_{п\text{ тр}}, l_{п}, d_{1\text{ тр}}, l_1, d_{2\text{ тр}}, l_2$ – диаметры и длины пневмолиний питающего, нагнетательного и сливного трубопроводов;

V_1, V_2 – скорости прямого и обратного хода ПЦ;

F_{H1}, F_{H2} – максимальные внешние нагрузки при прямом и обратном ходах ПЦ;

F_{c1}, F_{c2} – силы сопротивления движению ПЦ;

m – приведенные перемещаемые массы объекта автоматизации;

$\pm x_y, y_y$ – управляющие воздействия (перемещения), подаваемые на распределитель.

3.1.2. Диаграммы рабочего цикла

Поскольку разработка привода ведется в реальном пространстве и времени, кроме геометрических параметров, представленных на рис. 6, необходимо уточнить времена отдельных участков траектории движения ОУ и рабочего цикла в целом. Для этого строим основные диаграммы: перемещений, скоростей, сил и управлений во времени (рис. 7) для заданного эскиза рабочего цикла. Например, для движения П2 «Стоп» $t_0 \rightarrow V_1$, $t_1 \rightarrow$ выдержка на упоре $t_2 \rightarrow V_2$, $t_3 \rightarrow$ «Стоп».

Время цикла $T_{ц} = t_0 + t_1 + t_2 + t_3$,

где t_0, t_2 – по техническому заданию; $t_1 = L_1/V_1$; $t_3 = L_2/V_2$.

Время $T_{ц}$ определяет длительность рабочего цикла. Особое значение $T_{ц}$ приобретает для сложных траекторий и циклов и незаменимо для многодвигательных пневмомеханических систем.

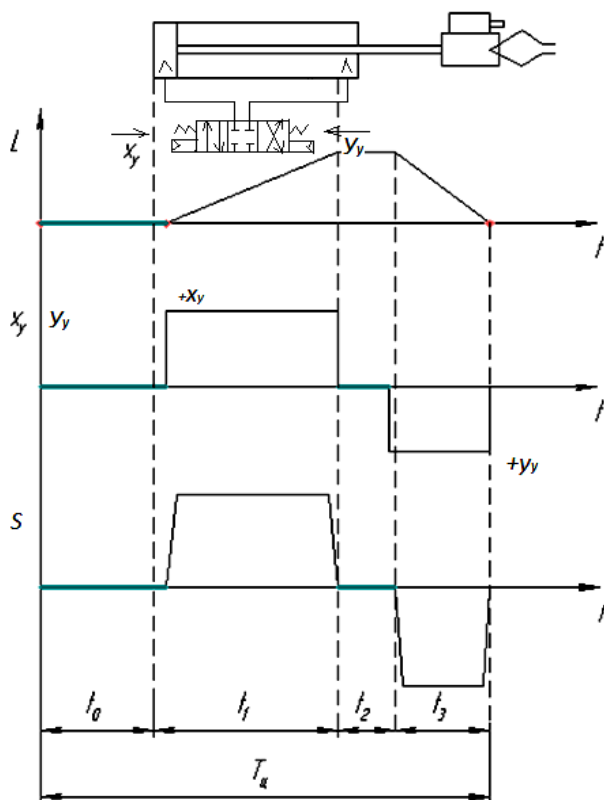


Рис. 7. Диаграммы рабочего цикла привода

3.1.3. Уточнение исходных данных для расчета АПП

Исходные данные для расчета основных параметров привода включают кинематические, нагрузочные, энергетические характеристики и время рабочего цикла. Последовательность их уточнения определяется принятой разработчиком стратегией расчета:

1. Если типоразмер и конструкция пневмоцилиндра известны (приняты из конструктивных соображений), то определив макси-

мальную нагрузку $F_{H\text{MAX}}$, находят рабочее давление p и расходы сжатого воздуха:

$$p = F_{H\text{MAX}}/S_{\Pi},$$

$$Q_1 = V_1 S_1,$$

$$Q_2 = V_2 S_2.$$

2. Чаще параметры цилиндра неизвестны. Тогда, используя опыт эксплуатации промышленного пневмопривода [3], принимают рабочее давление p и, определив $F_{H\text{MAX}}$, находят площадь и диаметр поршня пневмоцилиндра

$$S_{\Pi} = \pi D^2/4 = F_{H\text{MAX}}/P,$$

а затем и остальные геометрические параметры: $D_{\text{ш}}$, $L_{\text{ш}}$, d_1 , d_2 и др. Полученные расчетные значения, округляемые до стандартных, позволяют выбрать в дальнейшем серию и типоразмер пневмоцилиндра.

Как правило, предпочтение отдают второму варианту, ибо при этом реализуются наиболее полно требования к приводу. Об этом наглядно свидетельствует раздел каталога фирмы «Camoszi Pneumatic» – пневмоцилиндры. Многообразие их серий и типоразмеров, широкие диапазоны их характеристик позволяют выполнить практически все требования технического задания как для общих, так и специальных задач автоматизации процессов и машин в разных отраслях техники. В табл. 4 приведены основные характеристики пневмоцилиндров, предлагаемых фирмой «Camoszi Pneumatic» [8].

Таблица 4

Характеристики стандартных пневмоцилиндров Camozzi

Характеристика, обозначение	Диапазон
Диаметр поршня D , мм	6...320
Рабочий ход L , мм	5...3000
Рабочие температуры T , К	≤ 353
Смазка F	Не нуждаются в дополнительных устройствах (консистентная)
Качество очистки воздуха δ	Класс 6 ($\delta < 25$ мкм) ГОСТ 17433-80
Соответствие международным стандартам	ISO, DIN, CETO
Работа в тяжелых условиях окружающей среды	Серии 90, 92, 94, 95 $D = 16...125$ мм

3.1.4. Резервирование потерь энергии потоков на участках и элементах пневмомагистралей

В соответствии с принятой методикой расчета по $F_{H \text{ MAX}}$ принимают рабочее давление $P_{\text{п}}$. Исходя из сложившейся практики эксплуатации ПП [3], принимаем $P_{\text{п}}=0,6$ МПа. Такое давление будет в напорной магистрали лишь вначале, когда $S_1=0$, так как по закону Б. Паскаля, давление в гидростатике распространяется по всем направлениям с одинаковой величиной. При разгоне поршня давление в рабочей полости ПЦ уменьшается из-за потерь давления в напорной магистрали, обусловленных сопротивлением трубопроводов и проходных сечений пневмоаппаратов движению потока [5]. Если они известны, потери напора определяют по известным методикам, используя уравнение Дарси-Вейсбаха и критерий Рейнольдса [3, 5, 9]:

$$\text{для трубопровода} \quad \Delta \delta_i = \lambda \cdot \gamma \cdot \frac{l_i}{d_i} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g};$$

$$\text{для пневмоаппаратов} \quad \Delta p_{fA} = \zeta_{fA} \cdot \gamma \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}.$$

В нашем случае такая возможность количественной оценки потерь давлений в напорной и сливной магистралях отсутствует, поэтому решаем обратную задачу – резервированием их величин, а затем по рекомендациям табл. 5 рассчитываем конструктивные параметры пневмолиний и устанавливаемых на них аппаратов. С этой целью полуконструктивную схему на рис. 6 упростим до расчетной для построения диаграммы давлений (напоров) (рис. 8)

Таблица 5

Потери давления в типовых элементах пневмопривода

Элементы	Обознач.	Δp_{max} (бар)
Трубопроводы	$\Delta p_{\text{тп}}$	0,25
Распределители	$\Delta p_{\text{р}}$	0,7...1
Дроссели	$\Delta p_{\text{др}}$	1
Глушители	$\Delta p_{\text{гл}}$	0,2
Клапаны	$\Delta p_{\text{кл}}$	0,3

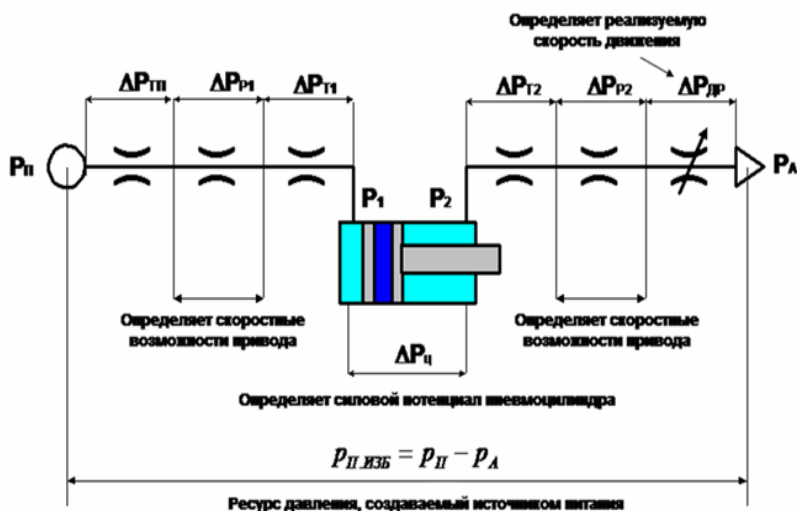


Рис. 8. Расчетная схема пневмопривода

Участок схемы $p_n - p_1$ представляет напорную магистраль, соединяющую источник питания с рабочей полостью ПЦ.

Суммарные потери давления на этом участке при выдвигании штока со скоростью S_1 определяет выражение:

$$\Sigma \Delta p_1 = \Delta p_{тп} + \Delta p_{р1} + \Delta p_{т1} = 0,25 + (0,7...1) + 0,25 = (1,2...1,5) \text{ бар},$$

где $\Delta p_{тп}$, $\Delta p_{р1}$, $\Delta p_{т1}$ – давление в трубопроводе, соответственно резервируемые потери питания в распределителе и трубопроводе, соединяющем распределитель с рабочей полостью цилиндра.

Участок $p_2 - p_A$ представляет сливную магистраль:

$$p_1 = p_n - \Sigma \Delta p_1 = 6 - (1,2...1,5) = (4,8...4,5) \text{ бар};$$

$$p_2 = \Sigma \Delta p_2 = (1,8...2,1) \text{ бар};$$

$$\Delta p_{пц\max} = p_1 - p_2 = (4,5...4,8) - (1,8...2,1) = 3 \text{ бар}.$$

Приведенные оценки резервирования потерь напора в пневмомагистралях поясняют различие расчетных значений силовых характеристик в условиях гидростатики и гидрокинематики АПП.

3.1.5. Кинематические и нагрузочные характеристики объекта автоматизации

Эти характеристики часто называют внешними механическими, так как они характеризуют движение объекта автоматизации по перемещению L , скорости S , положению $\pm \Delta L$, допустимой неустойчивости скорости ΔS и преодолеваемой нагрузке $F_{вн}$.

В зависимости от служебного назначения пневмопривода нагрузочные характеристики могут быть заданы техническим заданием или уточняться дополнительно предварительными расчетами [3, 5]:

- для подающих (технологических) приводов: L_i , S_i , $\pm \Delta L$, ΔS_i и нагрузка F_H задаются технологическим процессом. Например, для металлообрабатывающего оборудования: L_i – длина рабочего хода; S_i – скорость главного движения или подачи (определяется нормативами режимов резания) [11, 12]. Так же определяют силы резания, подачи.

- для транспортных позиционирующих приводов: L_i – конструктивно, S_i – из условия $T_{ц} \rightarrow \min$, при этом нагрузка определяется силами вредных сопротивлений движению (трения, позиционными, инерции) [1].

- для зажимных приводов (инструмента, заготовки, приспособлений схватов и др.): L_i – конструктивно, S_i – из условия $T_{ц} \rightarrow \min$. Нагрузка определяется усилием зажима.

После составления расчетной схемы АПП дополнительно к указанным в задании (табл. 3) значениям параметров определяются значения недостающих максимальных нагрузок F_{H1} , F_{H2} , давления питания P_n . Принимаются и некоторые допущения: о стационарности процессов, правомерности статического расчета, предварительной оценки динамических нагрузок. Так, для рассматриваемой задачи при прямом ходе V_1 :

$$F_{ц} = F_H + F_C + F_{и},$$

где F_C – суммарная сила сопротивления движению в общем случае определяется выражением:

$$F_C = F_{То} + F_{ТВ} + F_{ПЗ},$$

где $F_{То}$, $F_{ТВ}$ – силы сухого и вязкого трения; $F_{ПЗ}$ – позиционная нагрузка.

Таблица 3

Исходные данные для расчета АПП

Код ИД	Номер зад.	Исполнитель- ное движение	Масса переме- щаемых частей $m_{пр}$ кг	Нагрузка F_c , Н	Длина хода		Скорость			Длина трубопровода, м	
					ускор. $L_{бр}$ м/ $\phi_{бр}$ град	раб. $L_{рх}$ м/ $\phi_{рх}$ град	быстрого подвода $V_{бр}$ м/с / $\omega_{бр}$ град/с	рабочего хода $V_{рх}$ м/с / $\omega_{рх}$ град/с	быстрого отвода $V_{бо}$ м/с / $\omega_{бо}$ град/с	напорного	сливного
П1	0	Вертикальное перемещение плеча	100	200	0.7/-	-	0.5	-	0.6	1.5	1
	1		150	250	1/-	-	0.7	-	0.8	2	1.5
П2	2	Продольное перемещение локтя	20	50	0.3/-	0.1/-	0.6	0.02	0.7	1	0.5
	3		30	75	0.4/-	0.2/-	0.8	0.04	0.9	1.5	1
	4		40	100	0.5/-	0.3/-	1	0.06	1.1	2	1.5
П3	5	Закрытие- раскрытие схвата	0.5	500	0.01	-	0.1	-	0.8	1.5	1
	6		1	1000	0.02	-	0.2	-	1	2	1.5
П4	7	Поворот руки	100	300	-/100	-/20	150	30	150	1	0.5
	8		125	400	-/150	-/30	200	40	200	1.5	1
	9		150	500	-/200	-/50	250	50	250	2	1.5

Определив максимальные нагрузки $F_{H \text{ MAX}}$, необходимо принять максимальное усилие, которое должен развивать пневмоцилиндр. Используем семейство механических характеристик дроссельного пневмопривода (рис. 9).

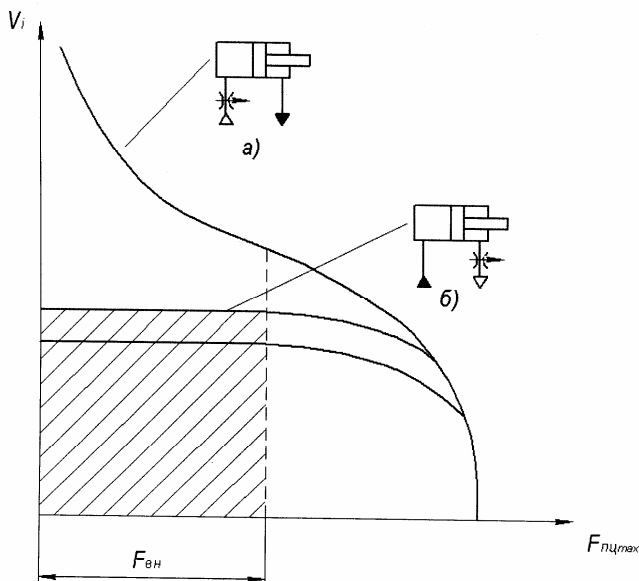


Рис. 9. Механические характеристики дроссельного пневмопривода:
а – дроссель на входе ПЦ; б – дроссель на выходе ПЦ

При дросселировании потока на входе (рис. 9,а) достигаются максимальные скорости V , однако, при изменении внешней нагрузки $F_{вн}$, стабильность скорости $\Delta V < (\Delta V_{\text{max}})$ не обеспечивается. При $F_{вн} = F_{пц\text{max}}$ происходит даже останов: $V_1 = 0$.

Такая структура предпочтительна для случаев, когда $F_{вн}$ незначительны и относительно стабильны. Такой алгоритм нагрузки характерен для транспортных АПП. При структуре а) установкой на выходе ПЦ клапана быстрого выхлопа достигают дополнительного повышения максимальных скоростей $V_{1\text{max}}$ [5]. Для нашего случая – технологического пневмопривода – используется структура б) с дрос-

селем на выходе ПЦ. Отметим, что в заштрихованной области диаграммы (см.рис.9) реализуется достаточный диапазон скорости движения V_1 при высокой кинематической жесткости привода, когда $\Delta V < (\Delta V_{\max})$. Эти условия обеспечиваются при $F_{\text{пцmax}} = (1,5 \dots 2) F_{\text{вн}}$. Ограничением для ее значения являются допустимые ускорения, развиваемые приводом ($a \leq 6-8 \text{ м/с}^2$). Они ограничивают динамические нагрузки на механическую подсистему привода в переходных режимах работы: разгон, замедление, торможение, реверс движения.

3.2. Расчет и выбор элементов пневмопривода

3.2.1. Расчет параметров и выбор пневмоцилиндра

Этап 1. Определение максимальных усилий $F_{\text{пн}}$, развиваемых пневмоцилиндром

На первом этапе выбора пневмоцилиндра необходимо определить, к какому типу относится пневмопривод.

Если пневмопривод зажимной и предназначен для развития только статического усилия («работа на упор»), то нагрузка, развиваемая пневмоцилиндром, определяется по выражению:

$$F_{\text{н}} \geq F_{\text{зж}},$$

где $F_{\text{зж}}$ – необходимое усилие зажима, Н.

Для пневмопривода транспортного, обеспечивающего движение объекта, усилие, развиваемое пневмоцилиндром, определяется по выражению:

$$F_{\text{н}} \geq k_{\text{зап}} \cdot F_{\text{дв}},$$

где $k_{\text{зап}} = 1,5 \dots 2$ – коэффициент запаса по усилию.

Далее по таблице развиваемых пневмоцилиндром усилий в каталоге [9] «Camozzi Pneumatic» выбираем диаметр поршня. Пример выбора диаметра поршня для $F_{\text{вн1}} = 500 \text{ Н}$, $F_{\text{вн2}} = 400 \text{ Н}$ и $P_{\text{п}} = 6$ бар приводится на рис. 10.

ЭТАП 1

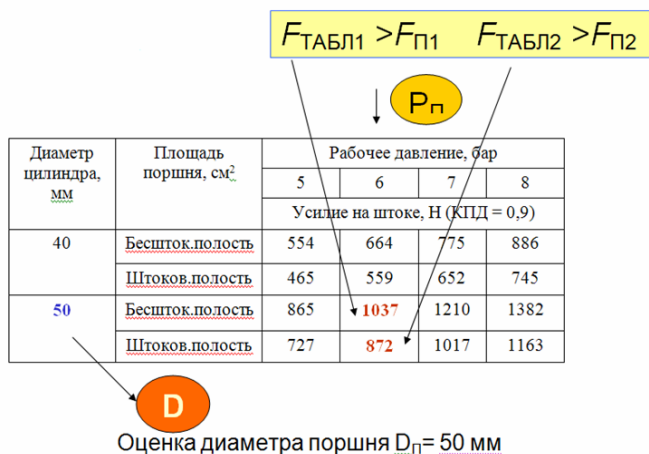


Рис. 10. Пример выбора диаметра поршня по каталогу «Camozzi Pneumatic»

Этап 2. Уточнение диаметра поршня пневмоцилиндра с учетом динамической нагрузки

При значительных перемещаемых массах и скоростях движения объекта управления при разгоне, торможении, изменении скорости возникает инерционная (динамическая) нагрузка. Её воздействие в конце хода на элементы привода может вывести элементы соединения из строя.

На рис.11 приведены графические представления оценки влияния перемещаемых масс m , скоростей V_1, V_2 на величину принятого диаметра поршня $D = 50$ мм (из условий статического расчета на этапе 1). Для тестового примера $m=17$ кг, $V_1=1$ м/с, точка А расположена под трапецией, описывающей поведение пневмоцилиндра с $D=50$ мм в переходных режимах. В этом случае торможение объекта в конце хода можно осуществить внутренними тормозными устройствами (гидродемпферами). Если точка пересечения координат m и V расположена выше трапеции для $D=50$ мм, например точка В, следует использовать внешние тормозные устройства (амортизаторы тормоза).

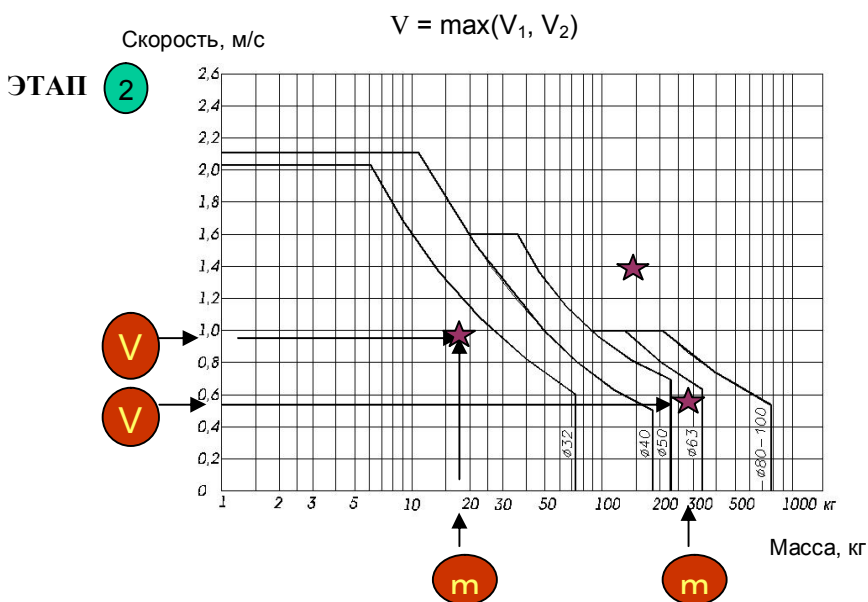


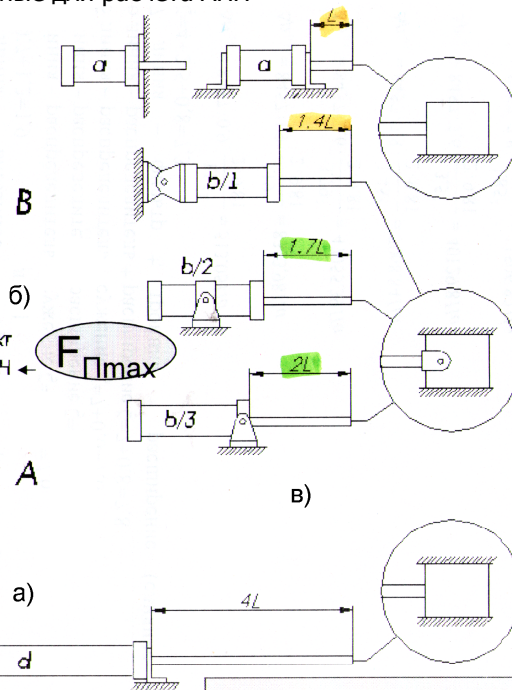
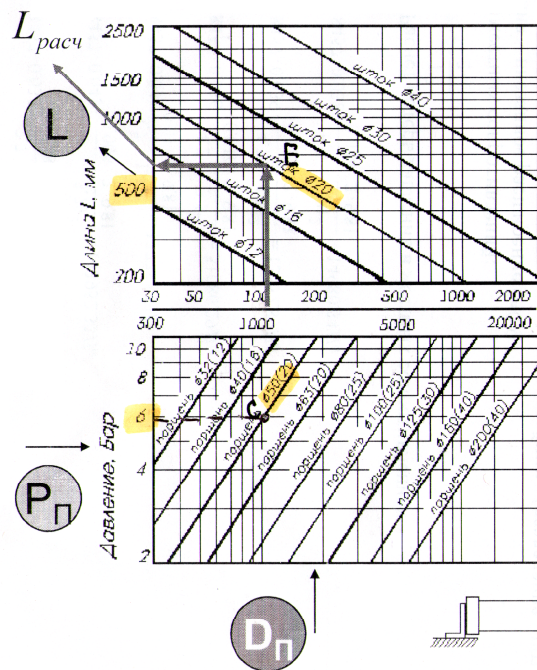
Рис. 11. Диаграмма для уточнения диаметра поршня пневмоцилиндра с учетом динамической нагрузки

По результатам этапов 1 и 2 принятый диаметр поршня $D=50\text{мм}$ отвечает требованиям задаваемых статистических и динамических нагрузок.

Этап 3. Определение диаметра штока $D_{\text{ш}}$

Шток пневмоцилиндра является основным элементом пневмоцилиндра, так как во многом определяет массогабаритные, кинематические, силовые характеристики пневмоцилиндра и устойчивые режимы работы механической подсистемы. Основными его параметрами являются диаметр $D_{\text{ш}}$ и длина $L_{\text{ш}}$. Последний определяется величиной рабочего хода $L_{\text{м}}$ или конструктивными соображениями. Эти моменты представлены на рис. 12. Для задаваемой тестовыми примерами длины хода $L=500\text{ мм}$ поясним алгоритм выбора $D_{\text{ш}}$.

Исходные данные для расчета АПП



$$L k_L > L_m; k_L = 1 \dots 4$$

Рис. 12. Выбор диаметра штока

На рис.12,а точка С является пересечением исходных данных: $p_n=6$ бар, $D=50$ мм, точка С является пересечением вертикальной линии, проходящей через точку С, и заданного значения длины хода $L \geq 500$ мм и определяет D штока, равного 20 мм.

С учетом исполнения механической подсистемы выбираем способ крепления гильзы цилиндра, направление движения объекта управления. В результате принимаемая длина хода $L_m < k_L \cdot L$ (при $k_L=1...4$).

Важной характеристикой механической подсистемы является способ крепления штока к перемещаемому объекту (посредством гайки, вилки, сферического наконечника, шарового шарнира). Каждый из них обеспечивает определенные степени подвижности объекта управления [8].

Для выбора серии и типоразмера пневмоцилиндра используем результаты расчета и регламентируемые техническим заданием условия эксплуатации АПП, например, климатические условия (температура, влажность, запыленность, агрессивность окружающей среды и т.д.). Используя раздел каталога «Camozzi» «Пневмоцилиндры», подбираем серию и типоразмер пневмоцилиндра для нашего проекта.

Этап 4. Расчет расходов сжатого воздуха для принятого типоразмера пневмоцилиндра

На этом этапе определяют расходы сжатого воздуха Q_1 , Q_2 , необходимые для перемещения поршня соответственно со скоростями V_1 и V_2 .

Учитывая существенную зависимость плотности воздуха ρ_a от давления и температуры T ($\rho_a = \frac{D \cdot V}{R \cdot T}$), условие сплошности потока предполагает равенство массовых расходов в любых сечениях пневмомагистрали:

$$G_1 = G_2; \quad \rho_1 \cdot V_{a1} \cdot S_{OD1} = \rho_2 \cdot V_{a2} \cdot S_{OD2}.$$

Для расчета кинематических характеристик (перемещений L_{mi} и скоростей V_i) необходимы объемные расходы сжатого воздуха. Для

упрощения расчетов вводится понятие расхода воздуха в нормальных метрах в минуту (Нл/мин). Это объем газа, проходящий через проточную часть пневмоустройства в единицу времени при перепаде давлений на нем $\Delta p=1\text{бар}$. Этот подход используется в каталоге «Camozzi Pneumatic» [8].

Последовательность действий разработчика при определении Q_{max} поясняет рис.13. Здесь используется понятие объемного коэффициента пневмоцилиндра $k_v=L_m/L_0$, где L_m – величина хода поршня; L_0 – удельный ход поршня, равный 10мм. Для нашего тестового примера

$$k_v = \frac{500 \text{ мм}}{10 \text{ мм}} = 50.$$

Удельные объемы ПЦ определяются выражениями:

$$V_{01} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot 10; \quad V_{02} = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_{\theta}^2),$$

а объемы V_1 и V_2 :

$$V_1 = k_v \cdot V_{01} \quad V_2 = k_v \cdot V_{02}.$$

Расходы сжатого воздуха в полости ПЦ

$$Q_1 = \frac{V_1}{L_m / V_1} = \frac{V_1}{t_{f1}}, \quad Q_2 = \frac{V_2}{L_m / V_2} = \frac{V_2}{t_{f2}}.$$

Максимальный расход:

$$Q_{\text{max}} = \max (Q_1, Q_2).$$

Для тестового примера из фрагмента таблиц каталога [8]

$$V_{01}=0,137\text{Нл}, \quad V_{02}=0,115 \text{ Нл}.$$

$$V_1=50 \cdot 0,137=6,85 \text{ Нл}, \quad V_2=50 \cdot 0,115=5,75 \text{ Нл},$$

$$Q_1 = \frac{50 \cdot 0,137 \cdot 1000 \cdot 60}{500} = 822 \text{ Нл/мин},$$

$$Q_2 = \frac{50 \cdot 0,115 \cdot 2000 \cdot 60}{500} = 1380 \text{ Нл/мин}.$$

ЭТАП

3

$$k_V > L_m / 10 \text{ мм}$$

$P_{\text{п}}$

$D_{\text{п}}$

Диаметр цилиндра, мм	Площадь поршня, см ²	Рабочее давление, бар			
		5	6	7	8
		Потребление воздуха, Нл на 10 мм хода			
40	Бесшток.полость	0,075	0,088	0,10	0,113
	Штоков.полость	0,063	0,074	0,08	0,095
50	Бесшток.полость	0,118	0,13	0,15	0,177
	Штоков.полость	0,099	0,11	0,13	0,148

W_{10}

W_{20}

$$W_1 = W_{10} k_V \quad W_2 = W_{20} k_V$$

$$Q_1 = W_1 \cdot V_1 / L_m \quad Q_2 = W_2 \cdot V_2 / L_m \quad Q_m = \max(Q_1, Q_2)$$

Рис.13. Пример расчета нормального объемного расхода

Необходимый объемный расход сжатого воздуха через распределители, дроссели и др., определяемый по каталогу

$$Q_{\text{кат}} = Q_m \cdot \frac{2,45}{\sqrt{D_i \Delta P_{\text{др}}}},$$

где Q_m – максимальный объемный расход в пневмоцилиндре;
 $p_{\text{п}}$ – заданное избыточное давление питания; $\Delta p_{\text{ап}}$ – резервируемые потери давления в пневмоаппарате.

Для нашего примера $p_{\text{п}}=6$ бар, $\Delta p_{\text{ап}}=1$:

$$\sqrt{\delta_f} \cdot \Delta \delta = 2,45 \text{ и тогда } Q_{\text{кат}} = Q_m.$$

3.2.2. Выбор элементной базы пневмопривода

Для рационального выбора серии и типоразмеров пневмоустройств, обозначенных принципиальной пневматической схемой привода, подлежат анализу следующие данные:

- исходные данные, касающиеся условий эксплуатации привода, окружающей среды, безопасных условий функционирования и обслуживания;
- результаты расчета напорно-расходных характеристик потоков сжатого воздуха в трубопроводах и пневмоаппаратах;
- принятые структурные реализации привода по основным функциям управления приводом.

Понятно, что учет всех требований, довольно часто просто противоречивых, затрудняет процедуру выбора. В этом случае следует использовать профессиональный опыт разработчика и сложившиеся традиции эксплуатации пневмоприводов в условиях конкретного предприятия [9].

3.2.2.1. Выбор распределителей и дросселей

Пневмораспределители выбирают, исходя из требуемых схемы исполнения, вида управления, пропускной способности, диапазона изменения давления, скорости переключения [8]. Важен и выбор конструкции [8], 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. Поэтому при выборе конструктивной схемы пневмораспределителя необходимо проанализировать приведенные ниже преимущества и недостатки каждого типа применительно к особенностям и условиям работы данного пневматического привода.

Пневмораспределители с цилиндрическим золотником (рис.14,а) имеют следующие преимущества:

- небольшие усилия 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 0,7 – 1,4 бар;

- простота конструкции – одна подвижная деталь (не считая уплотнений);

- число включений в минуту до 250–600.

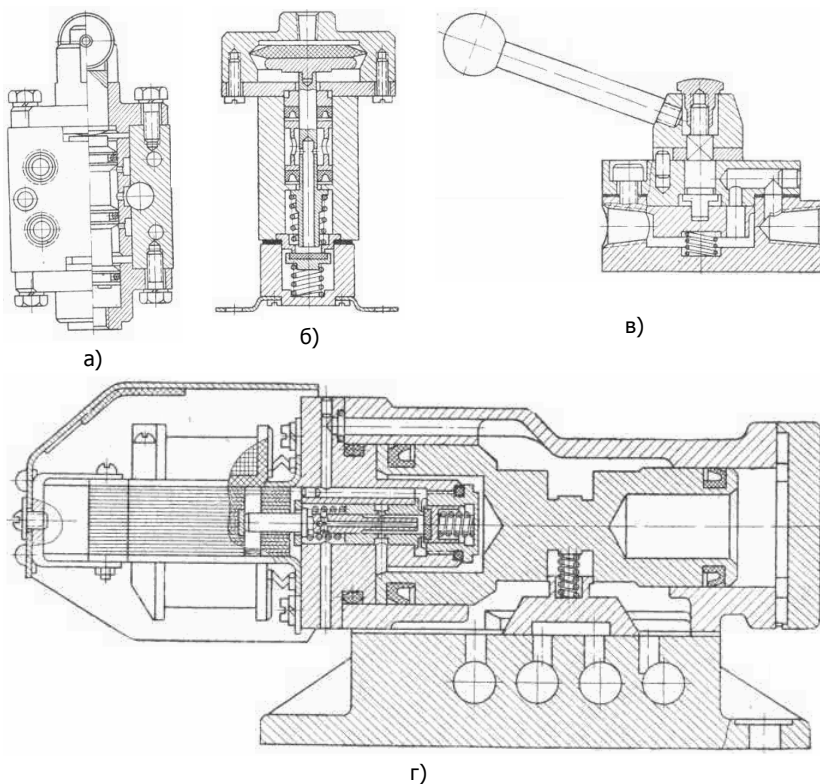


Рис.14. Конструкция пневмораспределителей:

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

Срок службы зависит от способа уплотнения и составляет: для распределителей с гладким цилиндрическим 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.

К недостаткам пневмораспределителей с цилиндрическим золотником следует отнести относительно большой ход золотника (особенно для трехпозиционных распределителей), высокое качество обработки рабочих поверхностей и жесткие требования к точности и материалу резиновых уплотнений, подверженных износу и разрушению при воздействии загрязнений и при пересечении кромок.

Клапанные пневмораспределители (рис.14,6) имеют следующие преимущества:

- малый ход распределительного элемента, вследствие чего они могут обладать высоким быстродействием (до 1200 включений в минуту);
- простота конструкции для двух- и трехлинейных распределителей;
- работа в относительно тяжелых условиях (вибрация, загрязненность сжатого воздуха);
- невысокие требования шероховатости и точности изготовления;
- широкий диапазон 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.14,в,г) имеют следующие преимущества перед другими типами:

- способность компенсировать износ рабочих поверхностей за счет самопритирки;

- 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 не требовательности 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 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.

3.2.2.2. 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 (взрывоопасность, повышенная влажность и загрязненность атмосферы, высокая температура 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 управляющий 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.

3.2.2.3 Выбор условного прохода пневмораспределителя

В пневматических приводах общего применения (например, для зажима, транспортирования, загрузки и др.), когда время срабатывания воздухораспределителя не регламентируется или когда оно существенно меньше времени перемещения исполнительного органа, условный проход распределителя можно выбирать, исходя лишь из статической пропускной способности распределителя, указанной в технической характеристике.

Как показано в разделе 3.1, 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.

Расчет пневмораспределителей и дросселей заключается в определении их пропускной способности, а именно нормального объемного расхода. Для упрощения этой задачи воспользуемся таблицей потребления воздуха пневмоцилиндрами по каталогу «Camozzi Pneumatic». В таблице указан нормальный объем воздуха, потребляемый пневмоцилиндром за 10 мм его хода. Поэтому для определения нормального объема воздуха за весь ход поршня пневмоцилиндра найдем коэффициент, учитывающий длину хода поршня k_v :

$$k_v = \frac{L_m}{10},$$

где L_m – длина хода поршня пневмоцилиндра, мм.

Умножая полученный коэффициент на табличное значение нормального объема воздуха, потребляемого за 10 мм хода V_{i0} , получим нормальный объем воздуха за весь ход поршня V_i :

$$V_i = V_{i0} \cdot k_v.$$

Нормальный объемный расход определяем по формуле

$$Q_i = V_i \cdot \frac{v_i}{L_m},$$

где v_i – скорость перемещения поршня пневмоцилиндра при прямом и обратном ходе, мм/с.

Из полученных нормальных объемных расходов выбираем максимальный и по нему – типоразмер пневмораспределителя и дросселя при условии, что расход через пневмораспределитель

$$Q_{\partial} = (1,2...2) \cdot Q_{\partial\partial}.$$

Это позволяет формировать рабочие расходы в середине диапазона расходов принимаемого типоразмера дросселя.

3.3. Расчет и выбор параметров пневмолиний

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

Важной характеристикой пневмолинии является величина потерь энергии при транспортировании сжатого воздуха и в первую очередь потерь на пневматическое сопротивление. Трубопровод 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 трубопровода и местных сопротивлений (изгибов, поворотов, клапанов, регулирующих устройств и т. п.):

$$\Delta p = \sum \Delta p_{\partial\partial} + \sum \Delta p_i.$$

Расчет трубопровода сводится к определению диаметра его участков.

Внутренний диаметр пневмомагистрали определяем по формуле:

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

где G – массовый расход воздуха, кг/с; $V_{\partial\partial}$ – скорость сжатого воздуха, м/с; ρ – плотность воздуха при давлении в воздухопроводе, кг/м³.

При расчете диаметра пневмомагистральной необходимо исходить из максимальной величины расхода.

Реальная скорость воздуха в трубопроводах зависит от многих факторов, в том числе от размеров и назначения. В магистральных трубопроводах 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.

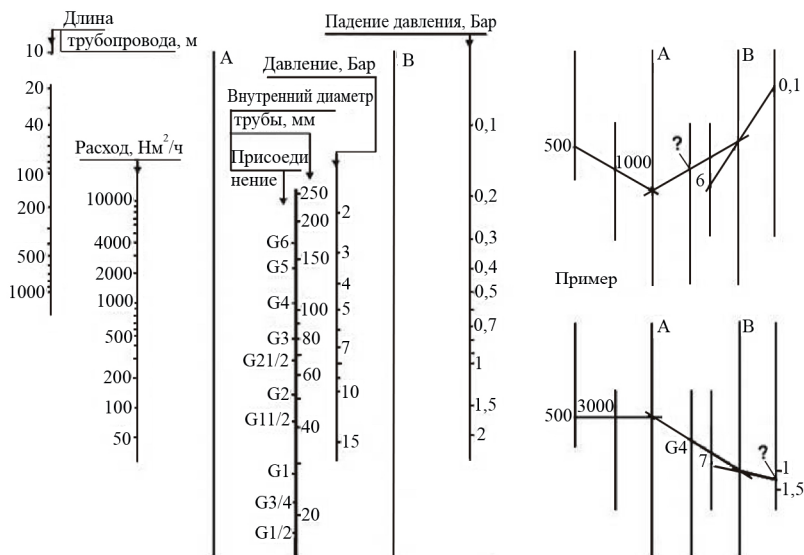


Рис.15. Номограмма для определения внутреннего диаметра магистрального трубопровода

Уменьшение скорости воздуха при тех же величинах расходов может привести к увеличению проходных сечений трубопроводов и пневматической аппаратуры и неоправданному увеличению масса-габаритных характеристик пневматического привода.

Ориентировочно можно определить диаметр пневмомагистрали по номограмме (рис.15), рекомендуемой фирмой «Camozzi Pneumatic». По заданным значениям длины трубопровода и требуемому расходу откладываем точки на шкалах «длина трубопровода» и «расход». Далее проводим прямую линию 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 откладываем точки на шкалах «давление» и «падение давления». Проводим прямую линию через полученные точки до ее пересечения с прямой В. Через точки на прямой А и В проводим прямую линию и на шкале «внутренний диаметр» определяем внутренний диаметр трубопровода и присоединение.

Материал воздухопроводов и соединений. В зависимости от назначения и размеров трубопроводы могут быть жесткими или гибкими.

Гибкие трубопроводы 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 трубопроводы удобнее для монтажа, особенно в труднодоступных местах.

В качестве жестких трубопроводов применяют трубы из черных и цветных металлов, а также из пластмасс. Для трубопроводов 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 трубопроводов больших диаметров используют 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 трубопроводов применяют маслостойкие резинотканевые шланги (рукава), нейлоновые, полиэтиленовые, полиуретановые и полихлорвиниловые трубки. Достоинством гибких трубопроводов 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 трубопровод 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.

Выбор трубопровода заключается в определении его внутреннего диаметра при условии допустимой потери давления на данном участке. Рекомендуемое значения перепада давления на участке трубопровода находится в пределах от 0,25 до 0,5 бар.

Перепад давлений Δp (бар) на участке гибкого трубопровода, имеющего длину L (м) и внутренний диаметр d (мм), определяется по эмпирической формуле:

$$\Delta p = 0,23 \cdot \frac{Q^{1,85} \cdot L^{0,8}}{p \cdot d^5},$$

где p – абсолютное давление воздуха (бар) на рассматриваемом участке трубопровода; Q – объёмный расход воздуха через трубопровод, л/мин.

Данная формула рекомендуется для оценки потерь давления в пластиковых трубках с внутренним диаметром от 2 до 12,5 мм при условии $\Delta p \ll p$.

Определить диаметр трубопровода можно и по расходно-перепадной характеристике гибкого трубопровода, полученной эмпирически фирмой «Camozzi Pneumatic» (рис.16).

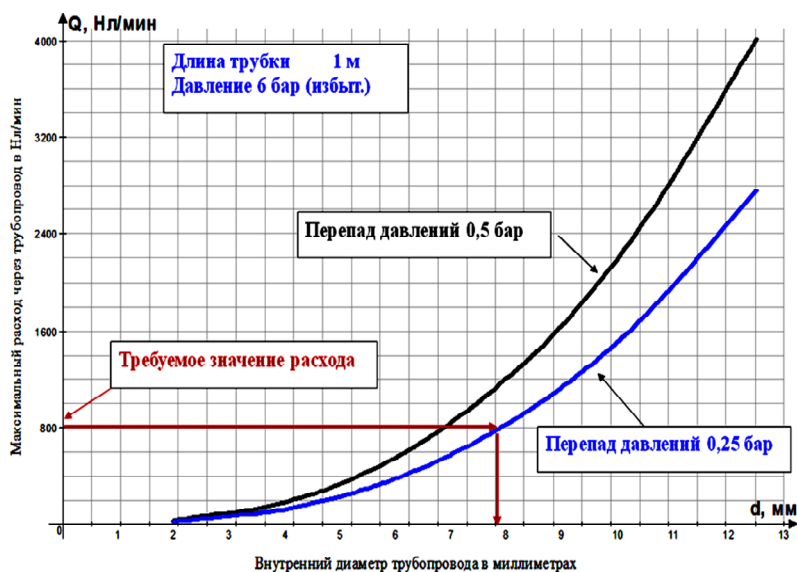


Рис. 16. Расходно-перепадная характеристика гибкого трубопровода

Здесь, например, для заданного расхода $Q = 800$ Нл/мин и резервируемых ранее потерь напора в трубопроводе $\Delta p_r = 0,25$ бар, рекомендуемый для него диаметр $d_r = 8$ мм.

В заключение отметим, что выбор параметров трубопроводов является многокритериальной задачей, требующей от разработчика компромиссного решения.

4. УПРАВЛЕНИЕ ПНЕВМОПРИВОДАМИ. ВЫБОР СПОСОБА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОМ

Автоматизированный пневматический привод представляет совокупность силовой, механической и управляющей подсистем, осуществляющих управляемое преобразование энергии потока сжатого газа в энергию механического движения объекта управления по заданному рабочему циклу, обеспечивающему автоматизированный технологический процесс.

Обобщённая структурная схема пневматического привода представлена на рис.17.

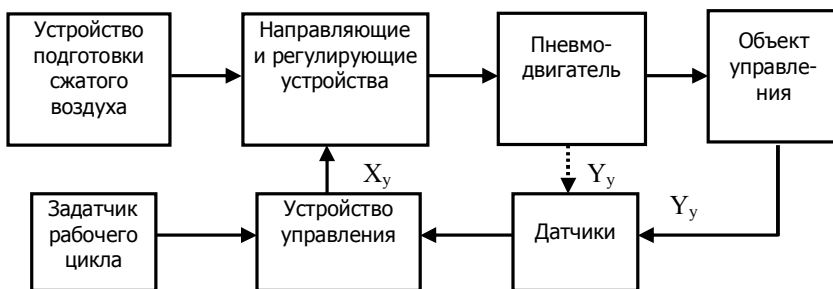


Рис. 17. Обобщённая структурная схема пневмопривода:
 Y_y – сигнал обратной связи; X_y – управляющий сигнал

По виду реализуемых траекторий движения объекта управления различают цикловые, позиционные, следящие пневмоприводы [3, 5, 10].

Цикловые приводы характеризуются ограниченным количеством точек позиционирования ОУ (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 дискретное и формирует сигналы, включающие или выключающие пневмодвигатель (ПД) или изменяющие направление его движения.

Позиционные приводы характеризуются тем, что ОУ может быть остановлен в любой координате своего диапазона перемещения с заданной точностью. В позиционном приводе датчики перемещения могут быть как дискретными (цифровыми), так и аналоговыми, выдают сигнал, пропорциональный положению ОУ. Устройство управления на основе анализа сигналов датчиков осуществляет включение или выключение ПД или изменяет направление его движения.

В следящих приводах ОУ перемещается в заданную точку по заданной траектории. В таких приводах используется пропорциональная регулирующая аппаратура, а УУ позволяет не только позиционировать ПД, но и изменять скорость его движения. Следящие приводы являются более сложными и дорогими в исполнении.

Девяносто пять процентов пневмоприводов являются цикловыми, поэтому в дальнейшем рассматриваются способы управления цикловыми АПП. В цикловых пневмоприводах в качестве исполнительного двигателя чаще всего 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 следующее ограничение: 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. Пневматическая схема привода представлена на рис. 18.

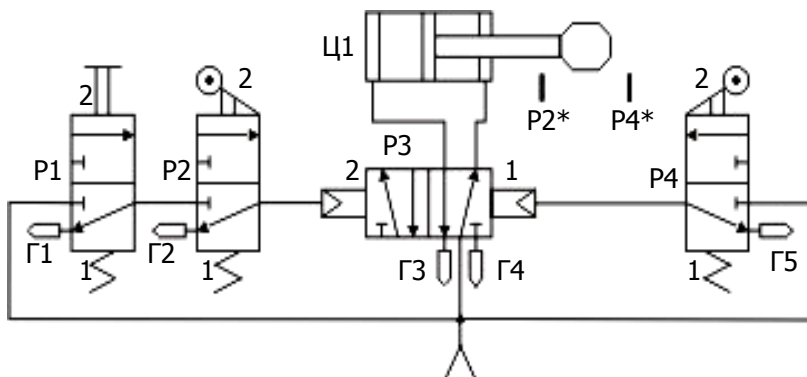


Рис. 18. Схема пневматического привода к задаче 1:
* – штрихами (здесь и далее) обозначено конструктивное расположение распределителей P2 и P4

В исходном положении (рис.19) распределитель P3 находится в позиции 1. При этом бесштоковая полость цилиндра соединена с атмосферой по цепи: бесштоковая полость цилиндра (БПЦ1) – распределитель P3 – глушитель Г3, а штоковая полость соединена с узлом подготовки воздуха (УПВ) по цепи: УПВ – P3 – ШПЦ1. Шток цилиндра втянут. Соответственно нажат ролик распределителя P2 и распределитель находится в позиции 2.

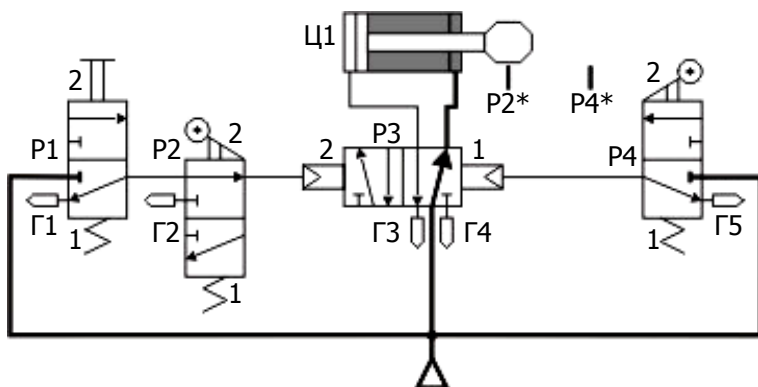


Рис.19. Исходное состояние пневмопривода в задаче 1

Управляющие входы распределителя РЗ (У1РЗ и У2РЗ) соединены с атмосферой: У1РЗ – Р4 – Г5 и У2РЗ – Р2 – Р1 – Г1.

При нажатии на кнопку распределителя Р1 он перемещается в позицию 2 (рис. 20). При этом на управляющий вход позиции 2 распределителя Р3 поступает сжатый воздух от УПВ по цепи: УПВ – Р1 – Р2 – У2Р3. Распределитель Р3 переключается в позицию 2. Штокковая полость цилиндра соединяется с атмосферой по цепи: ШПЦ1 – Р3 – Г4, а бесштоковая с УПВ: УПВ – Р3 – БПЦ1. Шток цилиндра начинает выдвигаться.

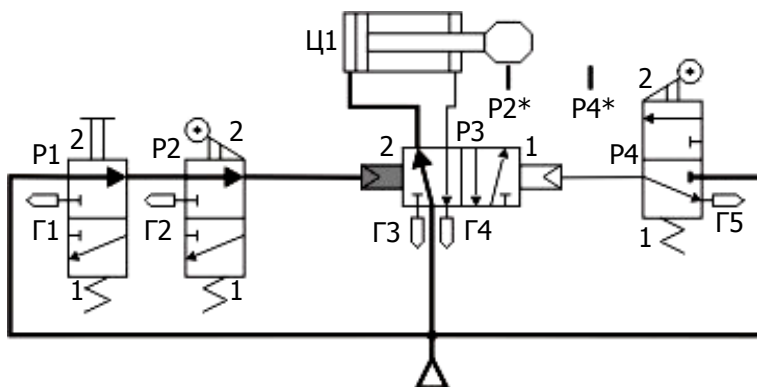
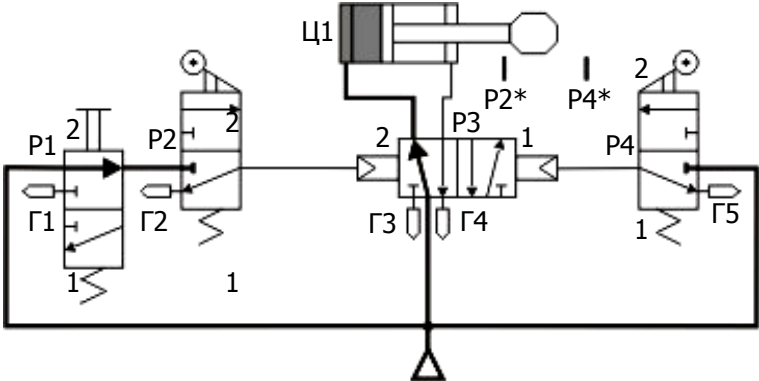
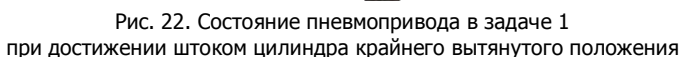


Рис. 20. Состояние пневмопривода в задаче 1 после нажатия кнопки распределителя Р1 («ПУСК»)



При выдвижении штока цилиндра в крайнее правое положе-



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.

52

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. 23.

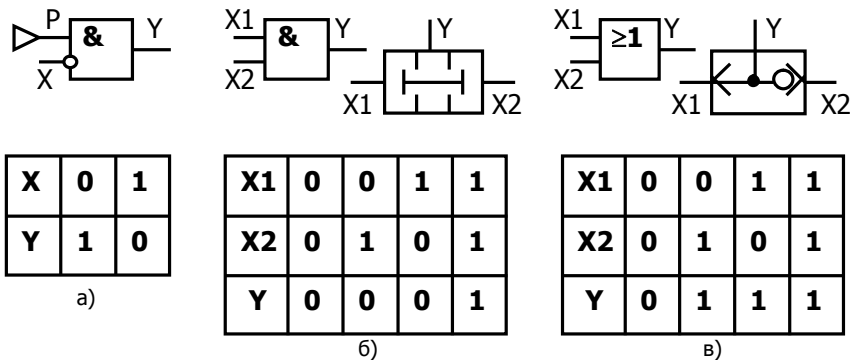


Рис. 23. Условные графические обозначения и таблицы истинности логических функций пневмоклапанов: а – пневмоклапан «НЕ»; б – пневмоклапан «И»; в – пневмоклапан «ИЛИ»

Принципы работы логических пневмоклапанов легко запомнить при помощи следующих фраз:

для клапана «НЕ»: Y **НЕ** X;

для клапана «И»: Y равен 1, если X1=1 **И** X2=1;

для клапана «ИЛИ»: Y равен 1, если X1=1 **ИЛИ** X2=1.

Для того чтобы клапан «НЕ» выполнял логическую функцию НЕ по отношению ко входу X, на вход P должен подаваться сжатый воздух (рис.23,а).

Следует заметить, что логический клапан «НЕ» имеет одну особенность. Если давление на его входе X будет постепенно возрастать (рис.24), 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 отпуская ($P_{отп}$), причём $P_{сраб}$ больше, чем $P_{отп}$.

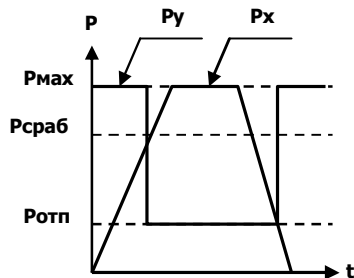
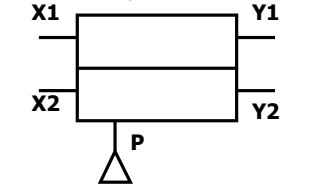


Рис. 24. Изменение давления на выходе Y (P_y) клапана «НЕ» в зависимости от изменения давления на входе X

Устройство управления, которое принимает логические (дискретные) сигналы, обрабатывает их и выдает управляющие логические (дискретные) воздействия, которые называются 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.



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

Рис. 25. Условное графическое обозначение пневмоклапана «ПАМЯТЬ» и таблица его переключений

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. Простейшим последовательностным логическим автоматом является клапан «ПАМЯТЬ» (рис.25). 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 которого больше давление. Чтобы в работе схемы не возникло неоднозначности, такое состояние допускать не рекомендуется.

Следует заметить, что бистабильный 5/2 распределитель также 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:

1. При кратковременном нажатии одной из двух кнопок «Пуск» шток цилиндра начинает совершать возвратно-поступательные движения.
2. При кратковременном нажатии кнопки «Стоп» шток цилиндра вытягивается 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.

Силовая часть привода будет иметь схему, приведённую на рис. 26.

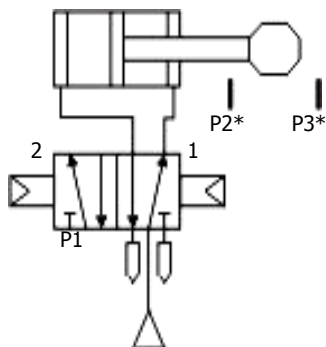


Рис. 26. Силовая подсистема привода к задаче 2

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 **И** (т.е. нажат ролик распределителя Р2), 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.27.

В исходном состоянии все кнопки отжаты, соответственно на обоих входах Х1 и Х2 клапана К2 «ПАМЯТЬ» будет «0». Если нажата кнопка «Пуск1» **ИЛИ** «Пуск2», то на выходе У клапана К1 «ИЛИ» появляется «1», которая поступает на вход Х1 клапана К2. Соответственно на выходе У1 будет «1», а на выходе У2 – «0».

Если нажать кнопку «Стоп», то на входе Х2 клапана К2 появится «1», и тогда на выходе У2 также будет «1», а на выходе У1 – «0».

Таким образом, на выходе У1 появляется сигнал, если была нажата кнопка «Пуск1» **ИЛИ** «Пуск2», а на выходе У2 – если была нажата кнопка «Стоп».

Согласно алгоритму работы привода на управляющий вход 2 распределителя Р1 должен прийти сигнал, если на-

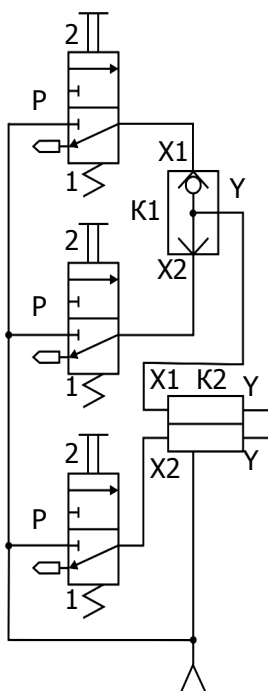


Рис.27. Применение клапана «ПАМЯТЬ» для «запоминания» последней нажатой кнопки

жат ролик распределителя Р2 **И** была нажата кнопка «Пуск1» **ИЛИ** «Пуск2».

На управляющий вход 1 должен прийти сигнал, если была нажата кнопка «Стоп» **или** нажат ролик распределителя РЗ.

Объединив выходы Y1 и Y2 клапана К2 «ПАМЯТЬ» с выходами распределителей Р2 и Р3 (рис.28) через соответствующие логические клапаны К3 («И») и К4 («ИЛИ»), получим полную схему привода.

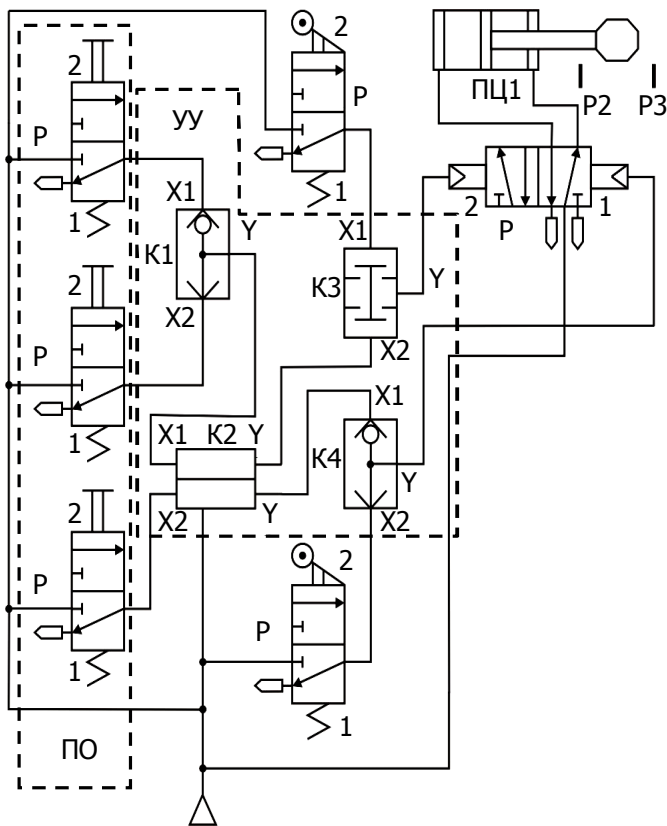


Рис. 28. Схема пневмопривода к задаче 2:
ПО – пульт оператора; УУ – устройство управления

Следует заметить, что функция **И** может быть реализована последовательным включением устройств. Например, на рис.28 по-

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.27 убрать клапан K1, и распределители P4 и P5 соединить параллельно (рис. 29).

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.

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

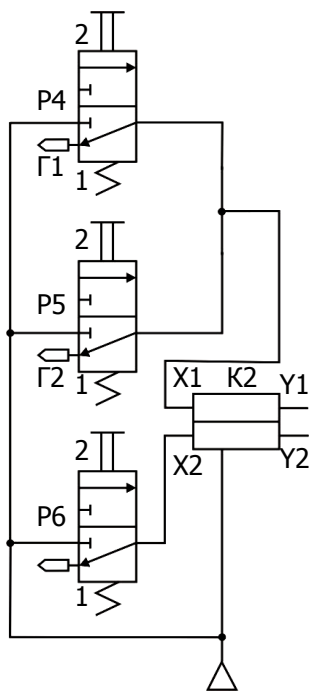


Рис.29. Неудачная реализация функции ИЛИ при параллельном соединении распределителей P4 и P5

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 следует использовать 5/2 бистабильные распределители с пневматическим управлением. Тогда силовая часть привода будет иметь схему, приведённую на рис. 30.

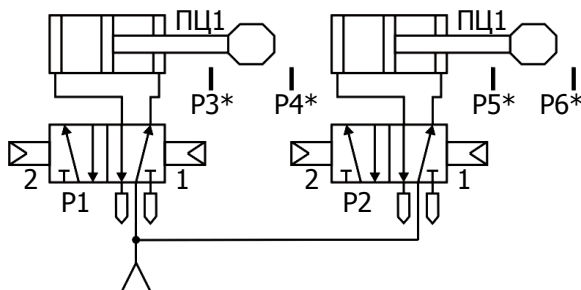


Рис.30. Силовая часть пневмопривода

В качестве датчиков (P3 – P6) использовать 3/2 моностабильные распределители с механическим управлением. Составим циклограмму работы привода (рис.31). 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.31 стрелками.

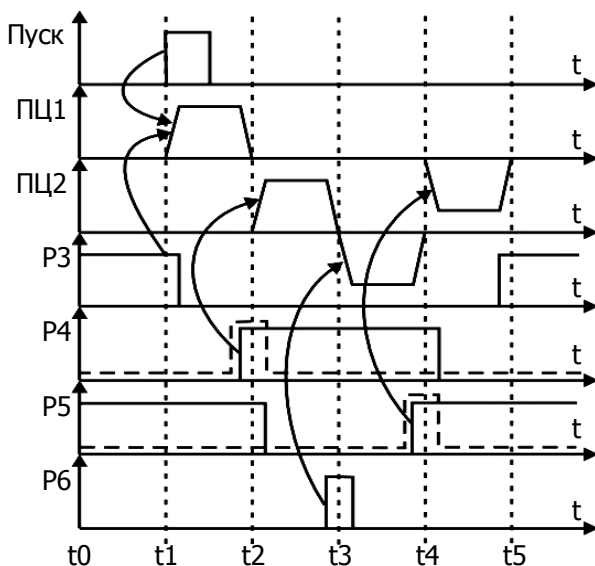


Рис.31. Циклограмма работы пневмопривода к задаче 3

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 выдвиганию штока цилиндра ПЦ2. Для

этого должен быть подан сигнал на второй управляющий вход распределителя P2. При отходе штока ПЦ2 от крайнего втянутого положения ролик распределителя P5 отождётся, и сигнал на его выходе пропадёт.

При достижении штоком ПЦ2 крайнего вытянутого положения (момент t_3) срабатывает распределитель P6, в результате чего шток ПЦ2 должен втянуться, т.е. должен быть подан сигнал на первый управляющий вход распределителя P2.

После того как шток ПЦ2 втянется (момент t_4), снова появится сигнал на выходе P5. Это должно привести к подаче сигнала на первый управляющий вход распределителя P1 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 P4, P5, P6 со входами Y2P2, Y1P1, Y1P2 соответственно (рис.32).

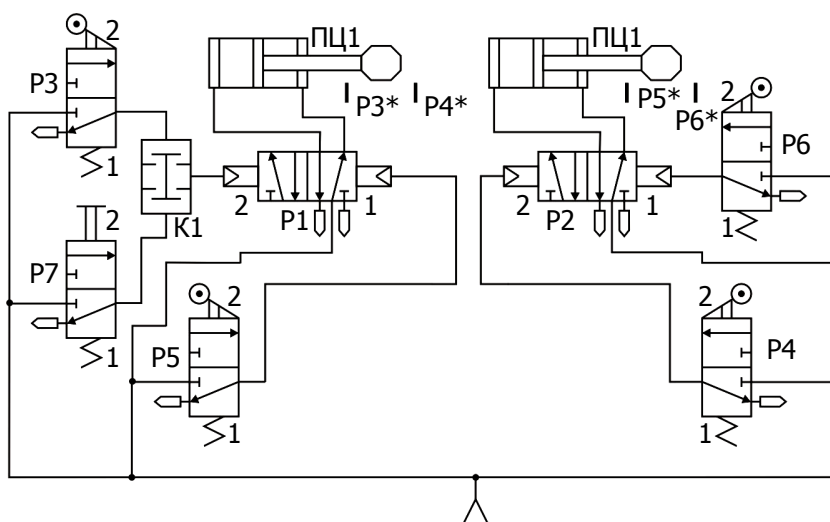


Рис.32. Первый (нерабочий) вариант схемы пневмопривода к задаче 3

Однако если внимательно проанализировать циклограмму, то можно увидеть, что при такой схеме включения привод не запустится, так как 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, так как 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 определенный вид. Для формирования такого сигнала можно использовать одновибратор (рис.33).

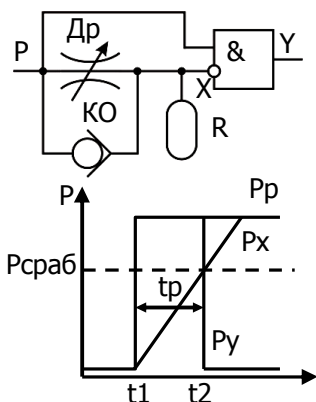


Рис.33. Одновибратор

В начальный момент времени давление на входе Р (P_p) равно нулю. Соответственно, давление P_y на выходе У логического пневмоклапана «НЕ» также равно нулю. При подаче давления на вход Р в момент времени t_1 на выходе У появится «1», так как 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 «НЕТ» 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 P4, P5 (рис.32) и входами У2Р2, У1Р1, получим схему привода, работающую согласно заданному в задаче 3 алгоритму (рис.34).

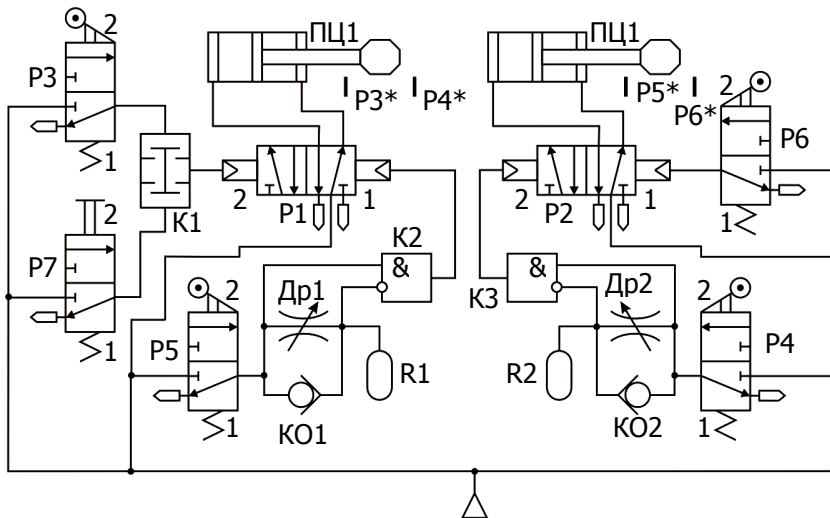


Рис. 34. Схема пневмопривода к задаче 3

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. 35). Работа такого распределителя аналогична работе распределителя с пневматическим управлением, с той лишь разницей, что для переключе-

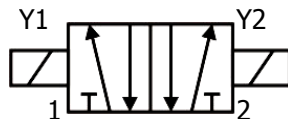


Рис. 35. Условное графическое обозначение распределителя с электромагнитным управлением

чения 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.36). Электромагнитное реле имеет одну рабочую обмотку

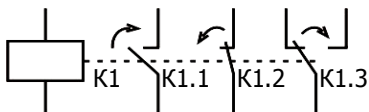


Рис.36. Условное графическое обозначение электромагнитного реле. Контакты показаны в исходном состоянии. Стрелками показано направление переключения при подаче напряжения на рабочую обмотку K1

(K1) и один или несколько контактов (K1.1 – K1.3). Контакты бывают нормально разомкнутые (K1.1), нормально замкнутые (K1.2) и парные (K1.3), 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 изображают 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 (рис.37). Логическая функция **НЕ** реализуется при помощи нормально замкнутого контакта реле (см.рис.37,а). В исходном состоянии, когда на входе X «0» (т.е. напряжение не подаётся), через замкнутый контакт K1.1 на выход Y подаётся напряжение U_n (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 (см.рис.37,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 $X_1=1$ **И** $X_2=1$. 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 ($Y=0$).

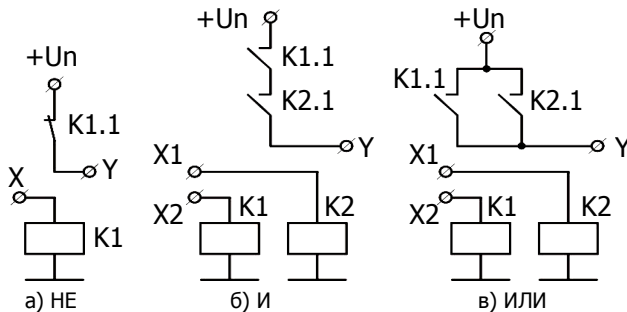


Рис. 37. Реализация логических функций при помощи реле

Логическая функция **ИЛИ** реализуется параллельным соединением нормально-разомкнутых контактов (см.рис.37,в). Если $X1=1$ **ИЛИ** $X2=1$, то замыкается контакт $K1.1$ **ИЛИ** $K2.1$, соответственно на выход Y подаётся напряжение ($Y=0$).

Часто в релейных схемах используется так называемая функция «самоблокировки» (или «самоудержания»). Рассмотрим эту функцию на примере привода, приведённого на рис.38. Привод состоит из двух частей (схем) – пневматической (силовой) и электрической (управляющей). Иногда такой привод называют комбинированным пневмоэлектрическим, или электропневматическим.

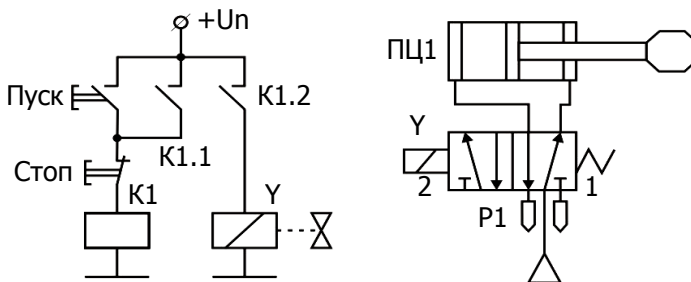


Рис. 38. Схема пневмоэлектрического привода с функцией «самоблокировки» на реле $K1$

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

Контакт K1.1 включён параллельно кнопке «Пуск», поэтому при отпускании кнопки (когда её контакт разомкнётся) ток всё равно будет проходить через рабочую обмотку реле по цепи: $+Un - K1.1 - \text{«Стоп»} - K1 - \text{общий провод}$, 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: $+Un - K1.2 - Y - \text{общий провод}$. 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 реле K1 разрывается, контакты K1.1 и K1.2 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.39).

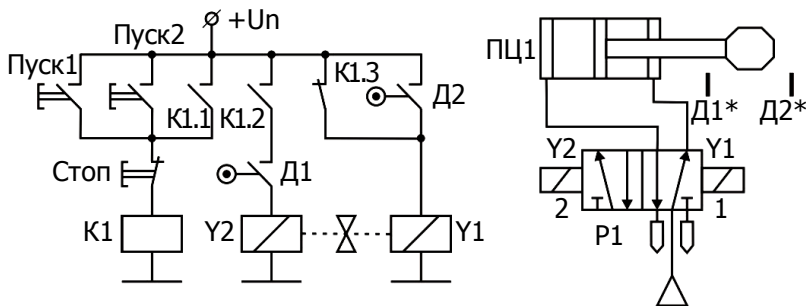


Рис.39. Схема пневмоэлектрического привода к задаче 2

В исходном состоянии реле K1 выключено, соответственно контакт K3.1 замкнут, и через электромагнит Y1 проходит ток по цепи: +Un – K1.3 – Y1 – общий провод. Распределитель P1 находится в позиции 1, шток цилиндра втянут. При этом нажат ролик контактного датчика D1 и его контакт замкнут.

При нажатии кнопки «Пуск1» **или** «Пуск2» через рабочую обмотку реле K1 проходит ток (в данном случае функция **или** реализована параллельным соединением кнопок). При этом замыкается контакт K1.1, ставя реле K1 на самоблокировку. Кроме того, замыкается контакт K1.2, а контакт K1.3 размыкается. Соответственно электромагнит Y1 отключается, а через электромагнит Y2 проходит ток по цепи: +Un – K1.2 – D1 – Y2 – общий провод. Распределитель P1 переключается в позицию 2, шток цилиндра выдвигается.

При достижении штоком крайнего вытянутого положения нажимается ролик датчика D2, и его контакт замыкается. Включается электромагнит Y1 и распределитель P1 переключается в позицию 1 (электромагнит Y2 в этот момент отключён, так как при выдвигании штока размыкается контакт датчика D1). Шток цилиндра втягивается.

При втягивании штока вновь замыкается контакт датчика D1, и распределитель снова переключается в позицию 2. Таким образом происходит возвратно-поступательное движение штока.

При нажатии кнопки «Стоп» отключается реле K1, контакт K1.2 размыкается, а K1.3 замыкается. Включается электромагнит Y1, и шток цилиндра втягивается.

Таким образом, контакт K1.2 замкнут в том случае, если последней была нажата кнопка «Пуск», а K1.3 – если «Стоп». Контакт датчика D1 включён последовательно с K1.2, т.е. реализуется функция **И**. Электромагнит Y2 включается, если замкнут контакт датчика D1 **и** последней была нажата кнопка «Пуск». Электромагнит Y1 включается, если замкнут контакт датчика D2 **или** последней была нажата кнопка «Стоп».

Следует заметить, что хотя схема на рис.40 выполняет возложенную на неё задачу, она имеет один недостаток: в состоянии останова (после нажатия кнопки «Стоп»), электромагнит Y1 постоянно находится под напряжением. Желательно составлять электрические схемы таким образом, чтобы напряжение на электромагниты

подавалось кратковременно. Это повышает долговечность и безопасность работы оборудования. На рис.40 приведена электрическая схема, лишённая этого недостатка. В данной схеме при нажатии кнопки «Стоп» замыкается контакт K2.2, через электромагнит Y1 протекает ток, распределитель переключается в позицию 1. При отпускании кнопки контакт K2.2 размыкается, напряжение с электромагнита снимается.

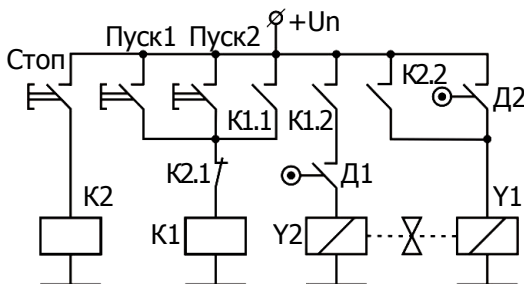


Рис. 40. Изменённая электрическая схема пневмоэлектропривода к задаче 2

Для создания электрической схемы пневмоэлектропривода применяют также электронные реле. По 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) используют 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), который 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 подключают 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.41) 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.41, сигнал на обмотку Q0.0 проходит в том случае, когда на входе I0.0 есть напря-

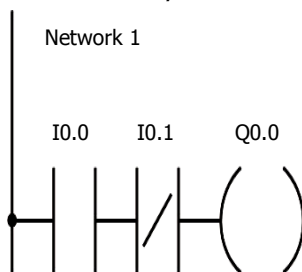


Рис.41. Фрагмент программы контроллера (вычислительная цепочка) на языке LAD

жение (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».

Есть также обмотки и контакты, обозначаемые буквой M (M0.0, M0.1, M1.0 и т.д.). Такие обмотки можно представить как рабочие обмотки «внутренних» реле контроллера, контакты которых переключаются при прохождении на обмотку сигнала от виртуальной 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.42).

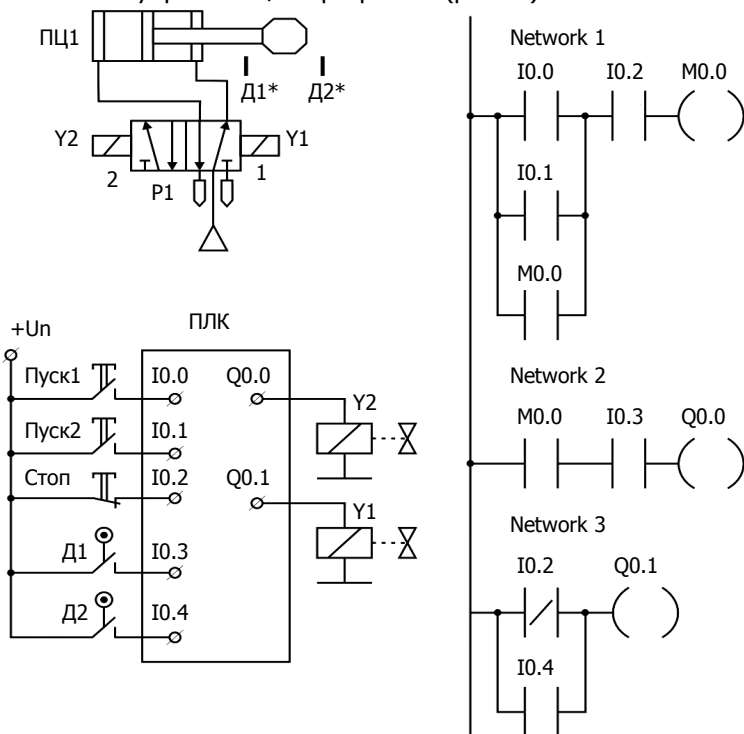


Рис.42. Схема пневмоэлектрического привода к задаче 2 с устройством управления на основе ПЛК

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, если кнопка «Стоп» не нажата, 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 D1, соответственно замкнут контакт I0.3 в цепочке Network 2.

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, так как нажат ролик D1). 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 D2, 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, так как при выдвигении штока размыкается контакт D1), шток цилиндра втягивается.

Когда шток втянут, контакт D1 замкнут, D2 разомкнут. Соответственно I0.3 в Network 2 замкнут, I0.4 в Network 3 разомкнут. Снова включается Y2, а Y1 – выключается. 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 вы-

держку 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В свете современных тенденций развития современной техники автоматизация процессов и машин средствами электро- и пневмоавтоматики является перспективным направлением развития общественного производства.

Успех реализации этого направления обеспечивается совершенствованием стратегии и методологии поиска и внедрением перспективных схмотехнических решений автоматизированных систем в производстве.

В пособии систематизированы и ранжированы по значимости признаки и критерии, необходимые для выбора вида и типа привода. Предложена методика формирования технического задания на разработку АПП, логическая этапность разработки подсистем привода с учетом их взаимной зависимости.

Использование в пособии опыта ООО «Камоцци-Пневматика» в области автоматизации процессов и машин, элементной базы, предлагаемой российскому рынку, позволило осуществить системный подход в создании АПП, путей его реализации как для типовых, так и для специальных задач автоматизации в условиях отечественного приводостроения. Ориентация пособия на перспективную элементную базу автоматики, принципы и способы построения автоматизированных подсистем управления АПП способствуют, по мнению авторов, достижению поставленной цели – совершенствование методологии создания перспективных АПП.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Герц Е.В. Расчет пневмоприводов /Е.В. Герц, Г.В. Крейнин. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.
2. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: справ. / Ю.Г. Козырев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 392 с.
3. Навротский К.Л. Теория проектирования гидро- и пневмоприводов / К.Л. Навротский. – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.
4. Сосонкин В.Л. Дискретная автоматика / В.Л. Сосонкин. – М.: Машиностроение, 1972. – 160 с.
5. Попов Д.Н. Механика гидро- и пневмоприводов: учеб. для вузов / Д.Н. Попов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.– 320 с.
6. Рачков М.Ю. Пневматические средства автоматизации / М.Ю. Рачков. – М.: Изд-во МГИУ, 2005.
7. Нагорный В.С. Устройства автоматики гидро- и пневмосистем / В.С. Нагорный, А.А. Денисов. – М.: Высшая школа, 1991.
8. Каталог «Camozzi» 2010-2011. – М.: Изд-во ООО «Фирма «Салта» ЛТД».
9. Погорелов Б.В. Применение сжатого воздуха: учеб.-метод. мат. для обучающихся семинаров / Б.В. Погорелов. – Учебный центр Академии ООО «Камоцци–Пневматика». – 2003. – 18 с.
10. Рабинович А.Н. Системы управления автоматических машин / А.Н. Рабинович. – Киев: Техника, 1973. – 436 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПНЕВМОПРИВОДА.....	5
2. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ. ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.....	12
2.1. Анализ объекта автоматизации.....	12
2.2. Состав и характеристика исполнительных движений.....	14
3. РАЗРАБОТКА СИЛОВОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПНЕВМОПРИВОДА.....	17
3.1. Построение расчетной схемы АПП.....	19
3.1.1. Полуконструктивная схема автоматизированно- го пневматического привода.....	19
3.1.2. Диаграммы рабочего цикла.....	20
3.1.3. Уточнение исходных данных для расчета АПП ...	21
3.1.4. Резервирование потерь энергии потоков на участках и элементах пневмомагистралей.....	23
3.1.5. Кинематические и нагрузочные характеристики объекта автоматизации	25
3.2. Расчет и выбор элементов пневмопривода.....	28
3.2.1. Расчет параметров и выбор пневмоцилиндра.....	28
3.2.2. Выбор элементной базы пневмопривода.....	35
3.2.2.1. Выбор распределителей и дросселей..	35
3.2.2.2. Выбор вида управления	39
3.2.2.3. Выбор условного прохода пневморас- пределителя.....	40
3.3. Расчет и выбор параметров пневмолиний.....	42
4. УПРАВЛЕНИЕ ПНЕВМОПРИВОДАМИ. ВЫБОР СПОСОБА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОМ.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	72
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	73

Учебное издание

Сидоренко В.С., Дымочкин Д.Д., Грищенко В.И.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПРИВОД

Учебное пособие

Редактор В.Ф. Лавриченко
Компьютерная обработка: Е.В. Хейгетян

Тем. план 2011, поз. 6

В печать 18.10.2011.
Формат 60х84/16. Бумага тип №3. Офсет.
Объем 4,7 усл.пл. Заказ № 539. Тираж 300 экз. Цена свободная

Издательский центр ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина,1.